

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**Факультет інженерії
Кафедра дизайну та індустрії моди**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**до кваліфікаційної роботи
II освітнього рівня магістр**

спеціальності 182 Технології легкої промисловості

освітньої програми Технології легкої промисловості

на тему

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТУПЕНЯ НАДІЙНОСТІ
ТЕРМО- ТА ТЕПЛОЗАХИСНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Виконав: здобувач
вищої освіти групи ТЛП-23дм

Владислав ЧОРНОГУЗ



(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Керівник к.т.н., Олександр САРАНА
(науковий ступінь, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Завідувачка кафедри к.т.н., Галина РІПКА
(науковий ступінь, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Рецензент к.т.н., Сергій КУДРЯВЦЕВ
(науковий ступінь, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Київ – 2024

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії
Кафедра дизайну та індустрії моди
Освітній рівень магістр
Галузь знань 18 Виробництво і технології
(шифр і назва)
Спеціальність 182 Технології легкої промисловості
(шифр і назва)
освітня програма Технології легкої промисловості

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедри ТЛП
Галина РІПКА
«23» грудня 2024 року

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ
Чорногуз Владислав Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема:

**Дослідження ступеня надійності термо- та теплозахисних
характеристик текстильних матеріалів**

спеціальне завдання:

Дослідити ступінь залежності температури
на характеристики проб текстильних матеріалів

керівник роботи Сарана Олександр Миколайович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 10.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1) наукова література

2) спеціальні матеріали

3) міжнародні та державні стандарти України

4) Інтернет-джерела, матеріали наукових конференцій, семінарів, періодичні

видання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ ТЕРМОСТІЙКИХ І ТЕПЛОЗАХИСНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

2. ДОСЛІДЖЕННЯ І ОЦІНКА ТЕРМОСТІЙКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ

3. ДОСЛІДЖЕННЯ І ОЦІНКА ТЕПЛОЗАХИСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ

5. Перелік графічного матеріалу (слайдів презентації):

Титульний аркуш. Мета дослідження

Дослідження термостійких характеристик матеріалів

Дослідження теплозахисних характеристик матеріалів

Моделювання процесу теплопередачі крізь матеріали

Рекомендації щодо використання матеріалів

Загальні висновки

6. Дата видачі завдання 25.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проектування	Термін виконання етапів	Примітка
1	Вибір та затвердження теми магістерської роботи	25.09.24	
2	Аналіз наукової літератури відповідно до обраної теми	02.10.24	
3	Написання та затвердження плану магістерської роботи	25.10.24	
4	Вступ	30.10.24	
5	Розділ 1	01.11.24	
6	Розділ 2	15.11.24	
7	Розділ 3	01.12.24	
8	Формулювання та оформлення загальних висновків	08.12.24	
9	Анотація до роботи	08.12.24	
10	Подача оформленої роботи на перевірку	10.12.24	

Здобувач вищої освіти



(підпис)

Владислав
ЧОРНОГУЗ

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

Олександр
САРАНА

(підпис)

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми дослідження ступеня надійності термо- та теплозахисних характеристик текстильних матеріалів пояснюється низкою сучасних викликів та потреб у різних галузях. У виробництві одягу для робітників небезпечних професій (зварювальники, пожежники, металурги) необхідно забезпечувати захист від високих температур, полум'я, гарячих поверхонь і хімічних опіків. У побутовому одязі та спорядженні для екстремальних погодних умов (наприклад, полярні експедиції чи альпінізм) критичним є збереження тепла та запобігання переохолодженню.

Частіше виникнення екстремальних температурних умов, що потребує текстильних матеріалів із підвищеними термо- і теплозахисними властивостями для збереження здоров'я та життя людей. Зростання інтересу до функціонального текстилю, наприклад, матеріалів із активним регулюванням теплопровідності (розумний текстиль). Розробка багатошарових матеріалів із заданими теплозахисними характеристиками, які потребують точного оцінювання та контролю їхньої надійності.

Одяг із теплозахисними властивостями використовується в умовах інтенсивної експлуатації, тому критично важливо знати, як характеристики змінюються з часом і під впливом зовнішніх чинників (вологи, ультрафіолетового випромінювання, механічного зносу).

Розробка екологічно безпечних, перероблених матеріалів із теплозахисними властивостями вимагає нових методів дослідження їхньої ефективності та довговічності.

Попит на спеціалізовані матеріали для спортивного, медичного, військового і будівельного застосування стимулює потребу в комплексних дослідженнях їхньої надійності.

Зміни в нормативно-правовій базі щодо засобів індивідуального захисту вимагають підтвердження відповідності матеріалів сучасним стандартам, таким як ISO, ASTM, EN.

Дослідження термо- та теплозахисних характеристик має практичну цінність у

таких галузях, як матеріалознавство, хімія, фізика теплопередачі, ергономіка, що розширює межі застосування результатів.

Отже, тема дослідження є актуальною, оскільки впровадження сучасних, надійних текстильних матеріалів із покращеними теплозахисними характеристиками сприяє підвищенню безпеки, комфорту та ефективності в умовах сучасних викликів. Результати таких досліджень мають широкий спектр практичного застосування, зокрема, у виробництві захисного одягу, побутового текстилю, а також в інноваційних розробках.

Мета дослідження полягає у визначенні основних факторів, що впливають на їх ефективність, довговічність і стійкість до екстремальних умов. Це передбачає розробку нових методів оцінки, а також удосконалення існуючих підходів для тестування таких матеріалів.

Об'єкт дослідження. Термо та теплонадійність спеціальних текстильних матеріалів

Предмет дослідження. Фізико-механічні показники текстильних матеріалів спеціального призначення

Задачі дослідження:

1. Аналіз сучасного стану досліджень у галузі термостійких і теплозахисних текстильних матеріалів.
2. Розробка критеріїв оцінки їхньої надійності.
3. Дослідження впливу фізико-механічних, хімічних та експлуатаційних факторів на характеристики матеріалів.
4. Вивчення можливостей використання сучасних технологій, таких як наноматеріали чи інтелектуальні волокна, для поліпшення властивостей текстилю.

Методи дослідження. Метод експертних оцінок (експертної групи) для ідентифікації забарвлень та оцінки зміни забарвлень пофарбованих тканин після обробок, комплексної оцінки якості забарвлень; результати експериментів оброблені на персональному комп'ютері з використанням прикладних програм Excel 10, Curve Expert 1.3, Digital Photo Professional. Обробка отриманих експериментальних даних проведена за допомогою методів математичної статистики. Точність показників,

визначених інструментальними методами приймалася відповідно до паспортів вимірювальних приладів і результатів їх метрологічної повірки.

Наукова та практична значущість

Результати дослідження сприятимуть підвищенню ефективності та безпеки текстильних виробів, що мають термостійкі й теплозахисні властивості. Вони будуть корисними для проектування нових матеріалів у галузях захисного, спортивного та технічного текстилю.

З практичної точки зору, це дозволить створювати продукцію, яка відповідає вимогам сучасного ринку, забезпечує довговічність та екологічність. Результати роботи впроваджені у навчально-методичне забезпечення кафедри дизайну та індустрії моди Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Ключові слова: теплостійкість, термостійкість, спеціальні матеріали, дослідження.

ЗМІСТ

	стор.
ЗАВДАННЯ	2
АНОТАЦІЯ.....	4
ЗМІСТ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ ТЕРМОСТІЙКИХ І ТЕПЛОЗАХИСНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ...	9
1.1. Аналіз сучасного стану досліджень у галузі термостійких і теплозахисних текстильних матеріалів.....	9
1.2. Розробка критеріїв оцінки надійності термостійких і теплозахисних текстильних матеріалів.....	12
1.3. Дослідження впливу фізико-механічних, хімічних та експлуатаційних факторів на характеристики матеріалів	14
1.4. Вивчення можливостей використання сучасних технологій, таких як наноматеріали чи інтелектуальні волокна, для поліпшення властивостей текстилю.....	18
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ І ОЦІНКА ТЕРМОСТІЙКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ	22
2.1. Дослідження і оцінка термостійких характеристик матеріалів	22
3. ДОСЛІДЖЕННЯ І ОЦІНКА ТЕПЛОЗАХИСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ	33
3.1. Дослідження і оцінка теплозахисних характеристик матеріалів.....	33
3.2. Моделювання процесу теплопередачі крізь матеріали.....	37
3.3 Рекомендації щодо використання матеріалів.....	46
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

ВСТУП

Сучасний розвиток науки і техніки відкриває нові можливості у створенні текстильних матеріалів із високими експлуатаційними характеристиками, зокрема термостійкими та теплозахисними. Зростання вимог до якості та надійності таких матеріалів пов'язане зі збільшенням кількості сфер, де вони відіграють критичну роль: від професійного та захисного одягу до побутового текстилю для екстремальних умов. Високі температури, різкі коливання кліматичних умов, тривалі механічні навантаження та вплив агресивного середовища — це лише деякі з викликів, з якими мають справлятися текстильні матеріали.

У професійних сферах, таких як пожежогасіння, металургія, авіація, космічна галузь, теплозахисні тканини повинні забезпечувати не лише комфорт, але й збереження життя та здоров'я. У спортивному і туристичному екіпіруванні теплозахисні властивості матеріалів сприяють витримуванню екстремальних погодних умов, забезпечуючи комфорт і продуктивність користувачів.

Актуальність дослідження. Надійність текстильних матеріалів, особливо їх термостійких і теплозахисних характеристик, є однією з ключових умов їх ефективного використання. На сьогоднішній день основними завданнями у цій галузі є: Розробка нових матеріалів із покращеними властивостями. Удосконалення методів оцінки термостійкості та теплозахисності з урахуванням реальних умов експлуатації. Підвищення довговічності матеріалів, які піддаються впливу високих температур, вологи та механічного зношення.

Такі дослідження важливі для подолання сучасних викликів, пов'язаних із кліматичними змінами, зростанням інтенсивності експлуатації матеріалів та підвищенням вимог до екологічності продукції.

Отже, тема дослідження є актуальною, значущою та має великий потенціал для впровадження результатів у промисловість і повсякденне життя.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ ТЕРМОСТІЙКИХ І ТЕПЛОЗАХИСНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1. Аналіз сучасного стану досліджень у галузі термостійких і теплозахисних текстильних матеріалів

Аналіз сучасного стану досліджень у галузі термостійких і теплозахисних текстильних матеріалів

У сучасному світі значення термостійких і теплозахисних текстильних матеріалів продовжує зростати завдяки підвищеним вимогам до безпеки, комфорту та функціональності у багатьох галузях. Це зумовлено як впливом екстремальних умов роботи, так і необхідністю адаптації до змін клімату та нових технологічних викликів. Дослідження у цій галузі охоплюють широкий спектр напрямків, включаючи розробку інноваційних матеріалів, створення багатофункціональних текстильних структур та удосконалення методів тестування.

Основні напрямки досліджень

Розробка нових термостійких волокон

Арамідні волокна: залишаються одними з найбільш затребуваних у сфері термостійкого текстилю. Матеріали на основі арамідів, такі як *Kevlar* і *Nomex*, використовуються для створення захисного одягу, здатного витримувати екстремальні температури.

Поліімідні волокна: забезпечують не лише високу термостійкість (до 400–500°C), але й хімічну стійкість, що робить їх придатними для застосування в агресивних умовах.

Нановолокна: дослідження зосереджені на розробці наноструктурованих матеріалів із надзвичайно високою термостійкістю, які мають мінімальну вагу і зберігають механічну міцність.

Багатошарові структури. Значна увага приділяється створенню багатошарових текстильних матеріалів, які поєднують різні функції:

Зовнішній шар забезпечує термостійкість.

Внутрішній шар сприяє теплоізоляції та відведенню вологи.

Додаткові шари додаються для захисту від механічних пошкоджень чи хімічного впливу.

Функціональні покриття. Дослідження спрямовані на використання покриттів, що забезпечують:

Термостійкість: керамічні та металеві покриття підвищують здатність матеріалів витримувати екстремальні температури.

Тепловідбивні властивості: спеціальні полімерні та металеві покриття використовуються для зменшення поглинання тепла.

Гідрофобність і стійкість до хімікатів: покриття на основі наночастинок дозволяють зберігати захисні властивості навіть у складних умовах.

Теплозахисні композити

Використання матриць із полімерних або керамічних матеріалів, армованих термостійкими волокнами, дозволяє створювати структури, здатні витримувати не лише високі температури, але й механічні навантаження.

Дослідження зосереджені на поліпшенні адгезії між волокнами і матрицею для зменшення пошкоджень при екстремальних впливах.

Інтеграція розумних технологій

Теплові сенсори: вбудовані у текстиль датчики здатні контролювати температуру на поверхні матеріалу.

Адаптивні матеріали: досліджуються текстильні структури, які змінюють свої властивості залежно від умов середовища, наприклад, відкриття або закриття пор для регулювання теплопередачі.

Методи досліджень і тестування

Термогравіметричний аналіз (TGA)

Використовується для вивчення термостабільності матеріалів шляхом аналізу їхньої маси під впливом високих температур.

Диференціальна скануюча калориметрія (DSC) Дозволяє визначити теплові переходи (плавлення, розкладання) у матеріалах.

Тепловізійний аналіз Дає змогу оцінити розподіл температури по поверхні текстильних зразків під час впливу теплових джерел.

Випробування в реальних умовах Дослідження термостійких матеріалів у польових умовах забезпечують точніші дані щодо їхньої ефективності в реальних умовах експлуатації.

Комп'ютерне моделювання Сучасні дослідження активно використовують моделювання теплових процесів для прогнозування поведінки текстильних матеріалів за різних умов впливу.

Виклики та проблеми

Складність моделювання реальних умов Лабораторні тести часто не можуть точно відтворити вплив комплексних факторів, таких як поєднання високих температур, механічного навантаження та хімічного впливу.

Пошук балансу між властивостями Досягнення високої термостійкості часто супроводжується зменшенням еластичності або паропроникності, що може обмежувати зручність використання матеріалів.

Економічна доступність Високотехнологічні матеріали, такі як нанокompозити, поки що мають високу вартість, що обмежує їх масове застосування.

Екологічність Деякі процеси виробництва термостійких матеріалів можуть негативно впливати на довкілля, тому необхідно досліджувати методи зменшення цього впливу.

Перспективи розвитку

Розширення використання нанотехнологій Наночастинки надають можливість створювати матеріали із винятковими властивостями, зокрема термостійкістю, стійкістю до вологи та ультрафіолетового випромінювання.

Створення біорозкладних матеріалів Інноваційні дослідження спрямовані на розробку термостійких матеріалів із відновлюваних ресурсів, які мають мінімальний вплив на довкілля.

Інтеграція штучного інтелекту у розробки Використання ШІ для оптимізації складу матеріалів та передбачення їхніх властивостей у реальних умовах експлуатації.

Гібридні матеріали Поєднання властивостей різних волокон та покриттів дозволяє створювати багатофункціональні текстильні вироби.

Сучасні дослідження у галузі термостійких і теплозахисних текстильних матеріалів спрямовані на вдосконалення їхніх властивостей, забезпечення довговічності та адаптації до потреб користувачів. Інновації в галузі волокон, покриттів та методів тестування дозволяють створювати матеріали з покращеними експлуатаційними характеристиками, що відповідають сучасним вимогам безпеки та комфорту. Проте важливо враховувати виклики, пов'язані з балансом між властивостями, екологічністю та економічною доступністю, аби забезпечити стійкий розвиток галузі.

1.2. Розробка критеріїв оцінки надійності термостійких і теплозахисних текстильних матеріалів

Надійність текстильних матеріалів, що експлуатуються у складних умовах, є одним із ключових факторів, які визначають їхню ефективність і безпеку. Особливо це стосується термостійких і теплозахисних матеріалів, які широко застосовуються у виробництві захисного одягу, будівельних елементів, обладнання для промисловості та авіаційно-космічної сфери. Створення системи критеріїв оцінки надійності таких матеріалів дозволяє забезпечити їхній належний рівень експлуатаційних характеристик та відповідність вимогам сучасних стандартів.

Термостійкі й теплозахисні матеріали піддаються дії екстремальних температур, вологості, механічного зношення, ультрафіолетового випромінювання та інших агресивних факторів. Надійність цих матеріалів означає їхню здатність зберігати функціональність і структурну цілісність у таких умовах. Для цього необхідно розробити стандартизовані критерії оцінки, які дозволяють:

Порівнювати різні матеріали за їхньою стійкістю до певних факторів.

Визначати найбільш підходящі матеріали для конкретних умов експлуатації.

Забезпечувати прогнозованість їхніх властивостей протягом тривалого періоду.

Для оцінки надійності матеріалів слід враховувати такі ключові параметри, як

термостійкість, яка складається з таких показників, як температура, при якій матеріал зберігає свої фізико-хімічні властивості та опір до розкладання чи плавлення під впливом високих температур. Теплоізоляційні властивості. (Коефіцієнт теплопередачі. Здатність до збереження теплових бар'єрних властивостей після впливу високих температур).

Механічна стійкість

Стійкість до розриву, стирання чи деформації під час експлуатації.

Опір до повторюваних навантажень.

Стійкість до вологи та хімічного впливу

Вплив вологості на теплоізоляційні характеристики.

Стійкість до впливу хімічних реагентів, які можуть виникати під час експлуатації.

Довговічність

Здатність матеріалу зберігати свої властивості протягом усього терміну експлуатації, включаючи умови старіння.

3. Розробка критеріїв оцінки

При створенні системи критеріїв важливо враховувати не тільки окремі властивості матеріалу, але й їхню взаємодію під час комплексного впливу факторів.

Основні етапи розробки:

Визначення ключових експлуатаційних умов (максимальна температура, вологість, механічні навантаження).

Створення шкали вимірювання для кожного критерію (наприклад, діапазон температур від 100°C до 500°C).

Визначення граничних значень, за яких матеріал вважається придатним для використання.

Для термостійких і теплозахисних матеріалів можна виділити такі критерії:

Максимальна робоча температура (наприклад, температура плавлення або початку розкладання).

Час збереження теплоізоляційних властивостей при впливі певної температури.

Граничне механічне навантаження за високої температури.

Стійкість до повторюваних циклів нагрівання та охолодження.

Зміна маси матеріалу після експозиції (втрата маси через деградацію).

4. Методи тестування

Для перевірки відповідності матеріалів розробленим критеріям використовуються такі методи:

Термогравіметричний аналіз (TGA). Вивчення змін маси матеріалу під час нагрівання для оцінки стійкості до термічної деградації.

Диференціальна скануюча калориметрія (DSC). Аналіз теплових переходів у матеріалі, таких як плавлення, склування чи розкладання.

Випробування на теплопровідність Використання спеціальних приладів для визначення коефіцієнта теплопередачі в умовах високих температур.

Механічні випробування

Тестування стійкості до розриву чи стирання за умов нагрівання.

Оцінка здатності матеріалу витримувати механічне навантаження після тривалого термічного впливу.

Випробування в умовах впливу агресивних середовищ. Аналіз властивостей матеріалу після експозиції у вологому, хімічно агресивному чи ультрафіолетовому середовищі.

5. Моделювання надійності

Використання комп'ютерного моделювання дозволяє прогнозувати поведінку матеріалів у реальних умовах експлуатації. Наприклад:

Створення моделей старіння матеріалів під впливом тепла та вологості.

Аналіз комбінованого впливу факторів для оцінки ймовірності руйнування.

6. Валідація критеріїв

Щоб підтвердити ефективність розроблених критеріїв, проводяться порівняння лабораторних даних із реальними експлуатаційними результатами. Це включає:

Тестування матеріалів у польових умовах.

Аналіз зразків після тривалої експлуатації для виявлення відповідності прогнозованих характеристик реальним.

7. Перспективи

Подальший розвиток методології оцінки надійності матеріалів пов'язаний із Використанням нанотехнологій для підвищення стійкості текстильних структур.

Інтеграцією розумних сенсорів для контролю стану матеріалів під час експлуатації.

Розробкою біорозкладних матеріалів із високими термозахисними характеристиками.

Отже, розробка критеріїв оцінки надійності термостійких і теплозахисних текстильних матеріалів є важливим завданням, яке дозволяє забезпечити їхню ефективність, безпеку й довговічність. Визначення чітких параметрів і використання сучасних методів тестування забезпечує об'єктивну оцінку матеріалів і їхню відповідність сучасним викликам та стандартам.

1.3. Дослідження впливу фізико-механічних, хімічних та експлуатаційних факторів на характеристики матеріалів

Сучасні текстильні матеріали відіграють ключову роль у багатьох галузях промисловості та повсякденного життя. Їхні характеристики залежать не лише від складу та структури, але й від зовнішніх факторів, які можуть суттєво вплинути на їхню функціональність і довговічність. Дослідження взаємодії фізико-механічних, хімічних та експлуатаційних факторів із матеріалами є необхідним для розробки інноваційних текстильних рішень, які відповідають сучасним вимогам безпеки, екологічності та продуктивності.

Матеріали під час експлуатації піддаються впливу різних факторів, серед яких можна виділити фізико-механічні (навантаження, стирання, деформації), хімічні (вологість, вплив агресивних середовищ) та експлуатаційні (температурні коливання, ультрафіолетове випромінювання). Кожен із цих факторів може викликати деградацію властивостей матеріалу або його повне руйнування. Розуміння механізмів впливу цих факторів є основою для прогнозування терміну служби матеріалів і розробки методів їхнього захисту.

Під час експлуатації матеріали зазнають статичних, динамічних та ударних навантажень.

Деформація: У результаті надмірних навантажень може виникати пластична деформація, яка змінює початкову структуру матеріалу.

Розривні навантаження: Матеріали можуть руйнуватися через перевищення межі міцності, що особливо важливо для текстилю, який використовується в умовах високих механічних впливів (наприклад, канати, захисний одяг).

Стирання є однією з основних причин зносу текстильних матеріалів. Основними факторами, що впливають на стирання, є: шорсткість контактної поверхні; сила тертя між матеріалами; мікроструктура матеріалу.

Здатність матеріалів до відновлення початкової форми після зняття навантаження є важливою для їхньої довговічності. Часті цикли деформацій можуть призводити до втоми матеріалу, що знижує його міцність.

Для вивчення впливу механічних навантажень використовуються: машини для розривних випробувань, що вимірюють межу міцності матеріалу; тестери на стирання для оцінки зносостійкості; випробування на згинання для аналізу втоми матеріалу.

Волога суттєво впливає на властивості матеріалів, особливо текстильних: гідрофільні матеріали вбирають вологу, що призводить до набухання волокон, зниження їхньої міцності та теплоізоляційних характеристик; гідрофобні матеріали краще протидіють волозі, однак їхня поверхня може руйнуватися при тривалому впливі. Гідроліз полімерних матеріалів може спричинити розрив хімічних зв'язків, зниження еластичності та міцності.

Агресивні середовища (кислоти, луги, розчинники) здатні руйнувати текстильні матеріали. Наприклад, деякі полімери, такі як поліамід, є чутливими до впливу кислот, які викликають деградацію молекулярних ланцюгів. Лужні середовища можуть розчиняти натуральні волокна (бавовна, вовна).

Окислення є поширеним процесом деградації текстильних матеріалів, що зумовлюється впливом кисню або озону. Окислювальні процеси прискорюються при високих температурах та під дією ультрафіолетового випромінювання.

Для вивчення хімічного впливу використовуються такі методи:

Випробування у різних хімічних середовищах для оцінки змін маси та механічних властивостей.

Спектральний аналіз (FTIR, Raman), який дозволяє вивчати хімічні зміни в структурі матеріалів.

Аналіз впливу експлуатаційних факторів показав, що високі температури можуть викликати плавлення, термічну деградацію або втрату міцності матеріалів. Наприклад, натуральні волокна, такі як бавовна, починають руйнуватися при температурах вище 200°C або синтетичні волокна, наприклад, поліестер, плавляться при температурах 250–300°C.

Низькі температури можуть спричинити крихкість матеріалів, особливо полімерних.

УФ-випромінювання є однією з головних причин фотодеградації полімерних матеріалів. Воно сприяє розриву хімічних зв'язків, що призводить до втрати механічних властивостей.

Часті цикли нагрівання й охолодження можуть викликати втомленість матеріалу, зниження його міцності й еластичності.

Експлуатаційні фактори часто діють у поєднанні, наприклад, вплив високих температур, вологи та механічного навантаження одночасно, що суттєво ускладнює прогнозування довговічності матеріалу.

На даний час існують наступні методи дослідження, такі як лабораторні випробування; термогравіметрія: оцінка термічної стабільності матеріалів; випробування на циклічне навантаження: визначення втомленості матеріалів, а також естування в агресивних середовищах: моделювання умов експлуатації.

Сучасні симуляційні технології дозволяють прогнозувати поведінку матеріалів у різних умовах. Це особливо ефективно для оцінки комплексного впливу факторів.

Зразки матеріалів, які використовувалися в реальних умовах, підлягають аналізу для виявлення механізмів руйнування та втрати властивостей.

Таким чином розробка нових матеріалів має враховувати можливий вплив фізико-механічних, хімічних та експлуатаційних факторів. Для підвищення стійкості до агресивних середовищ застосовуються спеціальні покриття та композитні

структури. Використання модифікованих волокон і наноматеріалів сприяє поліпшенню експлуатаційних характеристик.

Отже, дослідження впливу зовнішніх факторів на текстильні матеріали є важливим напрямом у науці про матеріали. Воно дозволяє розробляти більш стійкі й довговічні

1.4. Вивчення можливостей використання сучасних технологій, таких як наноматеріали чи інтелектуальні волокна, для поліпшення властивостей текстилю

Вивчення можливостей використання сучасних технологій для поліпшення властивостей текстильних матеріалів є важливим напрямком у наукових дослідженнях і розробках. Сучасні технології дозволяють створювати текстиль з унікальними властивостями, такими як підвищена міцність, стійкість до впливу зовнішніх факторів, терморегуляція, самовідновлення, антибактеріальний захист тощо. Особливу увагу дослідників привертають наноматеріали й інтелектуальні волокна, які завдяки своїм інноваційним характеристикам відкривають нові можливості для текстильної промисловості.

Наноматеріали, завдяки своїм надзвичайно малим розмірам (на рівні мільярдної частки метра), мають унікальні фізичні, хімічні та механічні властивості, які неможливо досягти за допомогою традиційних матеріалів. Використання нанотехнологій у текстильній промисловості дозволяє створювати матеріали з надзвичайною стійкістю до зношення, підвищеною еластичністю та водонепроникністю. Наприклад, додавання наночастинок оксиду титану (TiO_2) чи оксиду цинку (ZnO) у текстиль забезпечує високу стійкість до ультрафіолетового випромінювання, що особливо важливо для тканин, які використовуються в умовах інтенсивного сонячного опромінення.

Наноматеріали також сприяють створенню тканин із самовідновлюваними властивостями. Наночастинки, інтегровані у волокна, можуть реагувати на зовнішні подразники, наприклад, високу температуру чи механічне пошкодження, активуючи

процеси самоцілення матеріалу. Такий підхід значно подовжує термін служби текстильних виробів і знижує витрати на їх заміну чи ремонт.

Ще однією важливою галуззю застосування наноматеріалів є створення антибактеріальних тканин. Включення наночастинок срібла чи міді у волокна текстилю забезпечує ефективний захист від бактерій і грибків. Це особливо актуально для медичного текстилю, спортивного одягу та постільної білизни, які контактують із шкірою та можуть стати середовищем для розмноження патогенів. Антибактеріальні властивості матеріалів не тільки підвищують їхню гігієнічність, а й сприяють загальному поліпшенню якості життя.

Інтелектуальні волокна, які є ще одним проривним напрямком у текстильній галузі, можуть реагувати на зміни в умовах довкілля чи потребах користувача. Такі волокна мають здатність змінювати свої властивості залежно від температури, вологості, тиску або навіть електричних сигналів. Це відкриває широкі перспективи для їх використання у створенні «розумного одягу», який може адаптуватися до потреб власника. Наприклад, інтелектуальні тканини з терморегуляційними властивостями можуть автоматично змінювати теплоізоляційні властивості залежно від температури навколишнього середовища. Це особливо важливо для одягу, що використовується в екстремальних умовах, наприклад, у гірських експедиціях чи космічних місіях.

Окремо варто відзначити розвиток текстилю з інтегрованими електронними компонентами. Інтелектуальні волокна дозволяють створювати тканини з вбудованими датчиками, які можуть вимірювати фізіологічні параметри людини, наприклад, пульс, температуру тіла, рівень глюкози чи артеріальний тиск. Такий текстиль знаходить застосування в медицині, спортивній індустрії та системах моніторингу здоров'я. Крім того, технології дозволяють інтегрувати у волокна елементи живлення та мікропроцесори, перетворюючи одяг на багатофункціональний пристрій.

Застосування наноматеріалів і інтелектуальних волокон у текстилі також сприяє підвищенню екологічності виробництва. Наприклад, тканини з нанопокриттям потребують меншої кількості води та хімічних засобів для прання

завдяки їхній стійкості до забруднень. Це дозволяє зменшити негативний вплив текстильної промисловості на довкілля, скоротити витрати води та хімічних реагентів, а також знизити кількість стічних вод.

Розвиток технологій наноматеріалів та інтелектуальних волокон також відкриває нові горизонти для створення текстилю з поліпшеними захисними властивостями. Зокрема, використання наноструктурованих покриттів дозволяє створювати тканини, стійкі до впливу вогню, високих температур або токсичних речовин. Такий текстиль знаходить широке застосування у виготовленні захисного одягу для пожежників, військовослужбовців, працівників хімічної промисловості та інших сфер, де потрібен високий рівень безпеки.

Серед перспективних напрямків також виділяється розробка текстильних матеріалів із покращеними механічними властивостями. Додавання вуглецевих нанотрубок у структуру волокон дозволяє створювати тканини з високою міцністю, легкістю та гнучкістю. Такі матеріали можуть використовуватися у виробництві спортивного одягу, бронежилетів, парашутів і навіть аерокосмічних компонентів.

Незважаючи на величезний потенціал наноматеріалів та інтелектуальних волокон, їхнє використання супроводжується певними викликами. Наприклад, інтеграція наночастинок у текстиль може бути пов'язана з ризиками для здоров'я людини та довкілля через можливий витік наноматеріалів під час експлуатації чи утилізації. Це вимагає проведення детальних досліджень їхньої безпеки. Також важливим завданням є зниження собівартості виробництва таких матеріалів, що дозволить зробити інноваційний текстиль доступним для масового споживача.

Таким чином, використання сучасних технологій, таких як наноматеріали й інтелектуальні волокна, суттєво розширює можливості текстильної промисловості, відкриваючи нові перспективи для створення матеріалів із винятковими властивостями. Інноваційний текстиль має потенціал змінити наше уявлення про комфорт, безпеку та функціональність одягу, водночас сприяючи зменшенню впливу промисловості на довкілля.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ І ОЦІНКА ТЕРМОСТІЙКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ

2.1. Дослідження і оцінка термостійких характеристик матеріалів

Теплозахисні властивості матеріалів залежать від їх термостійкості. Термостійкість є однією з характеристик, що визначає призначення і межі використання матеріалу [1]. Якщо матеріал не витримує без руйнування теплову дію, яка має місце в умовах його застосування, він не може бути рекомендований для використання.

Основними характеристиками термостійкості є температура в момент наскрізного руйнування та термін наскрізного руйнування матеріалу [2].

Згідно класичного визначення, однією з основних характеристик термостійкості є температура, при якій в матеріалах відбуваються зміни необоротного характеру. По відношенню до матеріалів спецодягу – це температура руйнування матеріалів. За температуру руйнування прийmemo температуру на виворітній поверхні проб матеріалів в момент їх наскрізного руйнування (табл.2.1).

Таблиця 2.1

Температура на виворітній поверхні проб в момент наскрізного руйнування матеріалів при різній інтенсивності теплової дії

Назва матеріалу, артикул	Температура джерела теплової енергії, °С			
	500	600	700	800
Температура на виворітній поверхні проб, °С				
Парусина брезентова, арт.11119	не руйнується	291	297	305
Парусина напівлляна, арт.11201	не руйнується	287	289	295
Тканина лляна металізована	не руйнується	241	424	240
Сукно сірошинельне, арт.6425	178	177,7	180	180
Сукно, арт. 6426	218	215,4	218	225
Полотно термостійке з волокон “Kevlar”	243	243,6	240	232

Дію теплової енергії від джерела нагрітого до температури 400⁰С витримують всі досліджені матеріали (термін випробування складає 1500с).

При температурі джерела 500⁰С відбувається наскрізне руйнування вовняних тканин арт.6425, арт.6426 і полотна термостійкого з волокон “Kevlar”.

Температура на виворітній поверхні проб в момент наскрізного руйнування при температурі джерела теплової енергії 500⁰С складає: у сукна сірошинельного арт.6425 – 173,0⁰С; у сукна арт.6426 – 213,1⁰С; у полотна термостійкого “Kevlar” – 238,3⁰С.

Значення температури руйнування сукна сірошинельного повністю співпадає з довідниковими даними про температуру руйнування (термостійкість) вовняних волокон. Тканина з волокон “Kevlar” має температуру руйнування 238,3⁰С. Отримані дані значно відрізняються від значень температур працездатності виробів з цих волокон, наведених в літературі [**Ошибка! Закладка не определена., Ошибка! Закладка не определена.**].

Збільшення температури джерела теплової енергії до 600⁰С призводить до руйнування ще трьох видів матеріалів: лляних тканин арт.11119, арт.11201 та лляної металізованої тканини. Температури на виворітній поверхні проб в момент наскрізного руйнування тканин арт.11119 і арт.11201 близькі і відповідно складають – 292,0 та 286,9 ⁰С. Зазначені тканини оброблені вогнезахисним апретом, який підвищує температуру термодеструкції целюлозних волокон. Дещо вища температура руйнування тканини арт.11119 може бути пояснена тим, що лляні тканини у порівнянні з напівлляними (арт.11201) мають більш щільну надмолекулярну структуру волокон.

У металізованої лляної тканини температура руйнування складає 241,0⁰С. Нижча температура термодеструкції цієї тканини у порівнянні з тканинами арт.11119 та арт.11201 пояснюється відсутністю обробки антипіреном.

Подальше збільшення температури джерела теплової енергії до 800⁰С не призводить до руйнування досліджуваних матеріалів інших видів. Матеріал НУМ, тканина фенілонова металізована, саржа для бойового одягу пожежних ТСТ-2 з волокон “Nomex”, а також тканина арт.3246 витримують дію джерела високої температури 800⁰С на протязі 1500 с без наскрізного руйнування.

Зміна інтенсивності теплової дії надала змогу з'ясувати залежність температури на виворітній поверхні проб в момент наскрізного руйнування від температури джерела (рис.2.1).

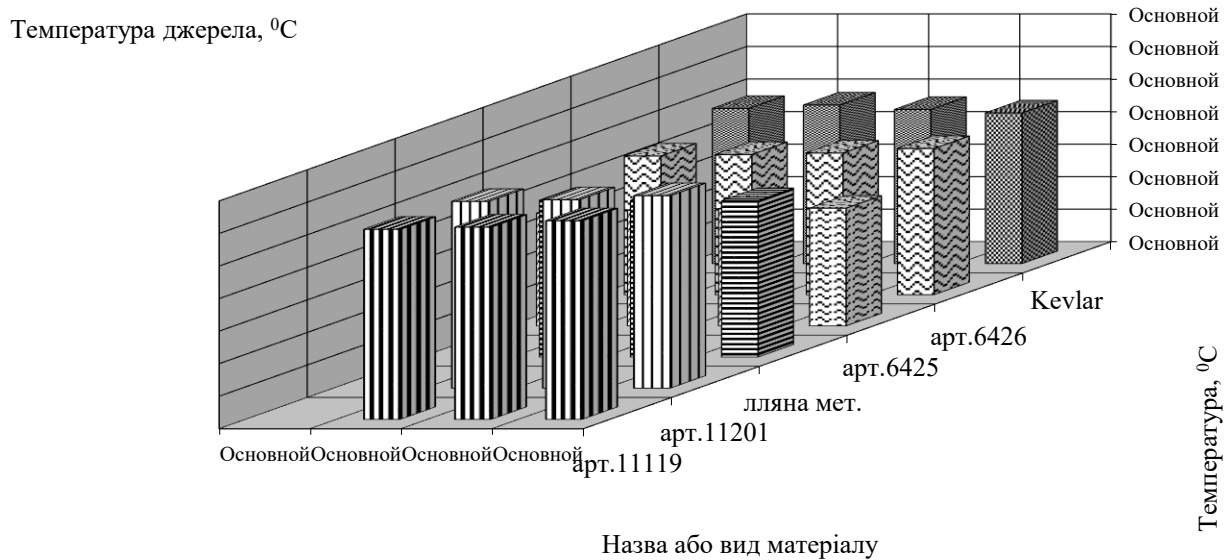


Рис.2.1. Залежність температури на виворітній поверхні проб в момент наскрізного руйнування від температури

Ця температура знаходиться в межах: у сукна сірошинельного арт.6425-173,0...180,8⁰C; у сукна арт.6426 – 213,1...224,6⁰C; у полотна термостійкого з волокон “Kevlar” – 231,5...243,6⁰C. Ляна тканина арт. 11119 руйнується в межах температур 292,0...305,2⁰C, арт.11201 – 286,9...295,9⁰C.

Руйнування металізованої ляної тканини відбувається в інтервалі температур 240,3...241,0⁰C. Температура залишається постійною і практично не залежить від температури джерела теплової енергії. Це можливо пояснити наявністю шару металізації, який сприяє рівномірному розподілу температури по поверхні проби і покращенню теплопередачі в середину матеріалу. Всі інші матеріали з числа тих, що зруйнувались, з підвищенням температури джерела теплової енергії зберігають тенденцію незначного зростання температури наскрізного руйнування.

В результаті обробки експериментальних даних з'ясовано, що залежність температури руйнування від інтенсивності джерела теплової енергії носить лінійний

характер і може бути описана рівнянням регресії першого ступеня з коефіцієнтами, які залежать від виду матеріалу :

- парусина брезентова арт.11119: $t_2(t_d) = 251,33 + 0,066 \cdot t_d$;
- парусина напівляняна арт.11201: $t_2(t_d) = 259,30 + 0,045 \cdot t_d$;
- тканина лляна металізована: $t_2(t_d) = 243,15 - 0,0035 \cdot t_d$;
- сукно сіро-шинельне, арт.6425: $t_2(t_d) = 161,17 + 0,0257 \cdot t_d$;
- сукно арт. 6426: $t_2(t_d) = 193,78 + 0,0368 \cdot t_d$;
- полотно термостійке: $t_2(t_d) = 255,23 - 0,0272 \cdot t_d$,

де t_2 - температура на виворітній поверхні проб в момент наскрізного руйнування, $^{\circ}\text{C}$;
 t_d - температура джерела теплової енергії, $^{\circ}\text{C}$.

Оскільки додатній або від'ємний приріст температури наскрізного руйнування не перевищує 5% від її абсолютної величини, температура наскрізного руйнування практично не змінюється із зростанням температури джерела теплової енергії.

Визначення терміну наскрізного руйнування матеріалів також проведено в залежності від інтенсивності теплової дії (табл.5.3). При температурі джерела 500°C відбувається наскрізне руйнування вовняних тканин арт.6425, арт.6426 і полотна термостійкого з волокон "Kevlar". Термін, за який відбувається руйнування цих матеріалів, складає: для вовняних тканин арт.6425 – 780с, арт.6426 – 760с; полотна термостійкого з волокон "Kevlar" – 720 с.

З дослідженого асортименту матеріалів, одним з найменш термостійких (за терміном руйнування) є полотно термостійке з волокон "Kevlar". Руйнування вовняних тканин при аналогічній тепловій дії відбувається за довший термін. Інші матеріали витримують цю теплову дію без наскрізного руйнування.

Для порівняння матеріалів за терміном руйнування виконаний аналіз результатів випробувань при температурі джерела теплової енергії 600°C . При зазначеній температурі джерела, крім матеріалів з вовняних волокон, руйнуються також і лляні матеріали. Лляні тканини арт.11119 та арт.11201 за терміном руйнування найбільш термостійкі з числа матеріалів, які зруйнувалися. Термін їх термодеструкції складає відповідно 700 і 660 с.

Час наскрізного руйнування проб матеріалів
при різній інтенсивності теплової дії

Назва матеріалу, артикул	Температура джерела теплової енергії, °С			
	500	600	700	800
	Термін наскрізного руйнування проб, с			
Парусина брезентова, арт.11119	не руйнується	700	450	320
Парусина напівлляна, арт.11201	не руйнується	660	440	307
Тканина лляна металізована	не руйнується	548	380	291
Сукно сірошинельне, арт.6425	780	485	294	200
Сукно арт.6426	760	471	278	191
Полотно термостійке з волокон "Kevlar"	720	381	179	80

Тканина лляна металізована руйнується швидше, ніж лляні тканини без металізації (термін руйнування - 549с). Термін руйнування вовняних тканин при аналогічній тепловій дії не перевищує 485с - арт.6425 і 471с - арт. 6426. Термостійкість матеріалу з волокон "Kevlar" також знижується у порівнянні з випробуваннями при температурі джерела 500⁰С і складає 381с. З подальшим збільшенням температури джерела теплової енергії відбувається подальше зниження терміну руйнування матеріалів (рис.2.2).

Характер зміни терміну руйнування в залежності від температури джерела теплової енергії з достатньою точністю можна описати рівняннями регресії другого порядку :

- парусина брезентова арт.11119: $\tau_4(t_d) = 4705,60 - 10,258 \cdot t_d + 0,006 \cdot t_d^2;$
- парусина напівлляна арт.11201: $\tau_4(t_d) = 3813,30 - 7,8745 \cdot t_d + 0,004 \cdot t_d^2;$
- тканина лляна металізована: $\tau_4(t_d) = 3237,40 - 6,8750 \cdot t_d + 0,004 \cdot t_d^2;$
- сукно сіро-шинельне, арт.6425: $\tau_4(t_d) = 3746,63 - 8,4367 \cdot t_d + 0,005 \cdot t_d^2;$
- сукно арт. 6426: $\tau_4(t_d) = 3730,50 - 8,4665 \cdot t_d + 0,005 \cdot t_d^2;$

- повністю термостійке:

$$\tau_4(t_d) = 4170,78 - 9,8952 \cdot t_d + 0,006 \cdot t_d^2,$$

де τ_4 - термін наскрізного руйнування проб матеріалів, с; t_d - температура джерела теплової енергії, °С.

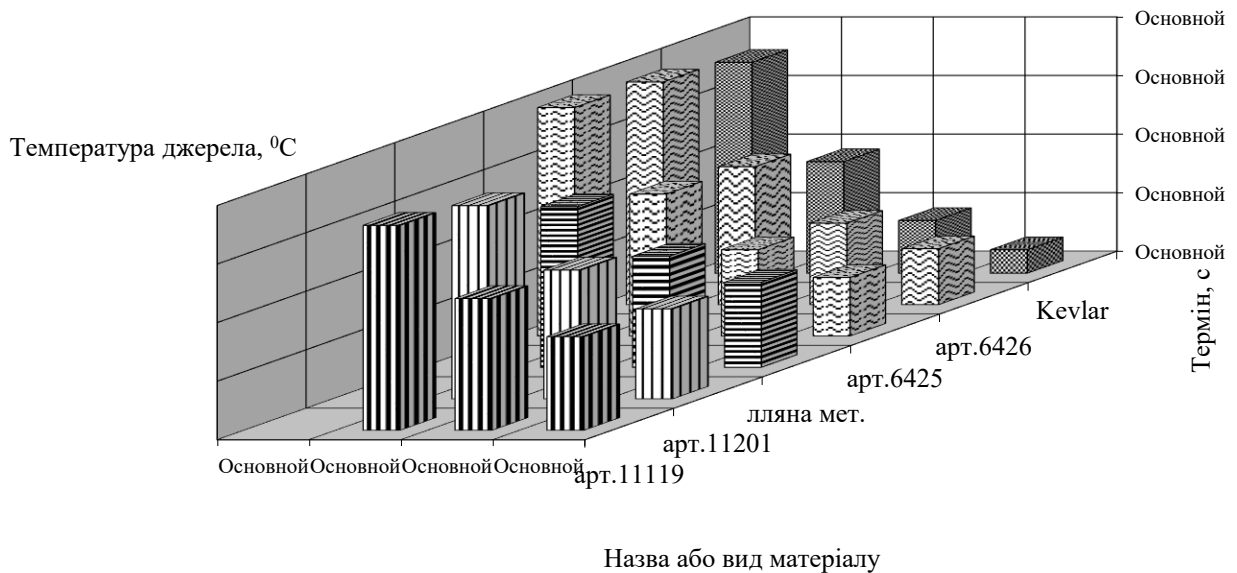


Рис.2.2. Залежність терміну наскрізного руйнування досліджуваних проб від температури

Матеріали типу НУМ, тканина фенілонова металізована, саржа для бойового одягу пожежних ТСТ-2 з волокон “Nomex” а також тканина арт.3246 витримують дію джерела високої температури 800°С на протязі 1500 с без наскрізного руйнування.

Матеріали типу НУМ, тканина фенілонова металізована, саржа для бойового одягу пожежних ТСТ-2 з волокон “Nomex” а також тканина арт.3246 витримують дію джерела високої температури 800°С на протязі 1500 с без наскрізного руйнування. Методика дозволяє також визначити термін, на протязі якого матеріал витримує дію джерела теплової енергії без руйнування лицевої поверхні (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Терміни часу до руйнування лицевої поверхні матеріалу при різній інтенсивності теплової дії

Назва матеріалу, артикул	Температура джерела теплової енергії, °С			
	500°С	600°С	700°С	800°С

	Термін, на протязі якого проби витримують теплову дію без руйнування			
Парусина брезентова, арт.11119	На протязі 1500 с не руйнується	377,3	280,3	216,0
Парусина напівляйна, арт.11201	На протязі 1500 с не руйнується	335,0	240,3	178,3
Тканина лляна металізована	На протязі 1500 с не руйнується	273,0	216,3	184,3
Сукно сірошинельне, арт.6425		324,0	190,0	100,0
Сукно, арт.6426		250,8	146,0	87,5
Полотно термостійке з волокон “Kevlar”		475,0	253,8	120,8

Показники цієї характеристики мають закономірності, близькі до показників терміну наскрізного руйнування проби матеріалів (рис.2.3).

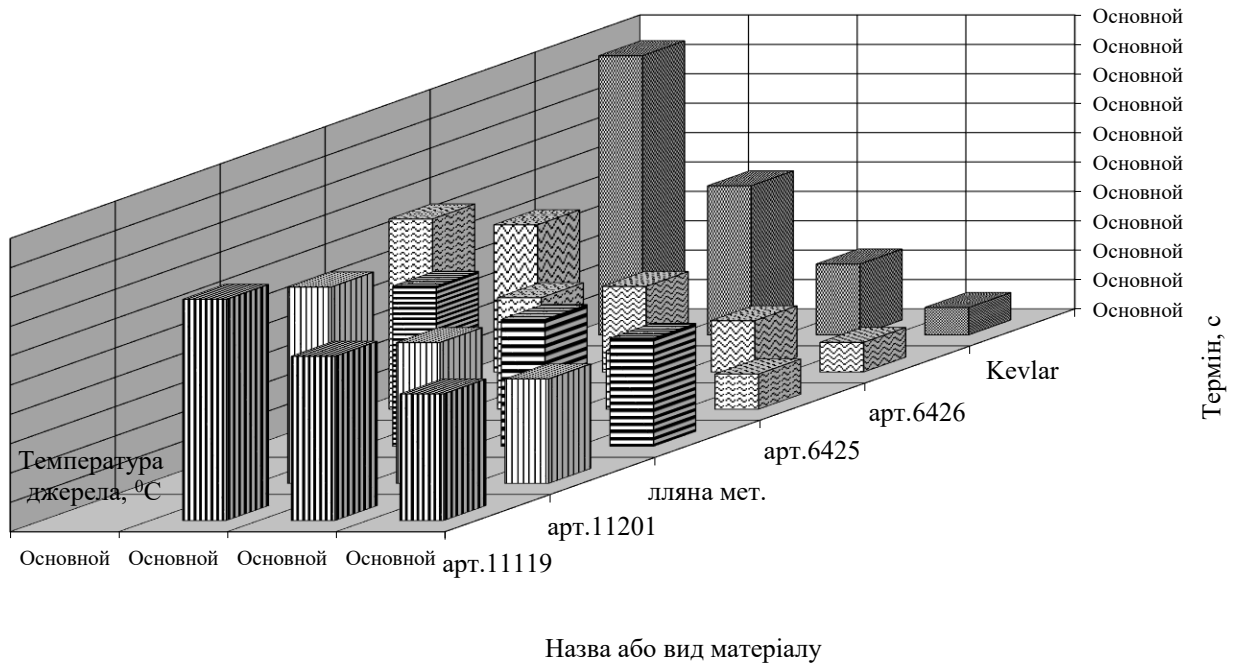


Рис.2.3. Залежність терміну, на протязі якого проби витримують теплову дію без руйнування ліцевої поверхні від температури

Характер зміни терміну, протягом якого матеріал витримує дію джерела теплової енергії без руйнування в залежності від температури, з достатньою точністю можливо описати рівнянням регресії другого порядку з коефіцієнтами, які залежать від виду матеріалу :

- парусина брезентова арт.11119: $\tau_3(t_d) = 1652,00 - 3,115 \cdot t_d + 0,002 \cdot t_d^2$;

- парусина напівлляна арт.11201: $\tau_3(t_d) = 1598,00 - 3,095 \cdot t_d + 0,002 \cdot t_d^2$;
- тканина лляна металізована: $\tau_3(t_d) = 1140,00 - 2,195 \cdot t_d + 0,001 \cdot t_d^2$;
- сукно сіро-шинельне, арт.6425: $\tau_3(t_d) = 1705,30 - 3,937 \cdot t_d + 0,002 \cdot t_d^2$;
- сукно арт. 6426: $\tau_3(t_d) = 1265,29 - 2,891 \cdot t_d + 0,002 \cdot t_d^2$;
- полотно термостійке: $\tau_3(t_d) = 2653,28 - 6,198 \cdot t_d + 0,004 \cdot t_d^2$,

де τ_3 - термін, протягом якого матеріал витримує дію джерела теплової енергії без руйнування (термін початку руйнування), с; t_d - температура джерела теплової енергії, $^{\circ}\text{C}$.

В результаті дослідження матеріалів за характеристиками термостійкості встановлено, що матеріали НУМ, тканина фенілонова металізована, саржа для бойового одягу пожежних ТСТ-2, а також тканина арт.3246 при дії джерела теплової енергії з температурою від 500°C до 800°C можуть працювати без руйнування не менше 1500 с. Інші з досліджуваних матеріалів при дії теплової енергії зазначеної інтенсивності можуть бути використані з певними обмеженнями. Термін теплової дії зазначеної інтенсивності не повинен перевищувати часу, протягом якого матеріали витримують дію джерела теплової енергії без наскрізного руйнування.

Температура на лицевій поверхні в момент наскрізного руйнування має відмінні значення у порівнянні з температурою на виворітній поверхні проб. Можливості методу і приладу ОТЗВМ дозволяють визначити цю температуру, а аналіз результатів дозволить краще зрозуміти теплові процеси, які відбуваються в матеріалах. Лицева поверхня проби сприймає початкове теплове навантаження джерела теплової енергії. Вона поглинає тепло і здійснює наступну передачу енергії всередину матеріалу. Тому під час наскрізного руйнування температура на лицевій поверхні проби вища, ніж температура на її виворітній поверхні (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Температури на лицевій поверхні проб в момент наскрізного руйнування матеріалів при різній інтенсивності теплової дії

Назва матеріалу, артикул	Температура джерела теплової енергії, $^{\circ}\text{C}$			
	500	600	700	800
	Температура на лицевій поверхні проб, $^{\circ}\text{C}$			
Парусина брезентова, арт.11119	На протязі 1500 с не руйнується	362,0	377,0	396,0

Парусина напівлляна, арт.11201	На протязі 1500 с не руйнується	365,0	380,2	403,8
Тканина лляна металізована	На протязі 1500 с не руйнується	329,0	332,7	339,5
Сукно сірошинельне, арт.6425	291,4	304,6	311,2	321,1
Сукно, арт.6426	303,7	319,8	330,8	348,3
Полотно термостійке з волокон "Kevlar"	281,0	282,3	287,9	289,5

Коли температура на лицевій поверхні проби досягає температури руйнування, починається процес термодеструкції матеріалу. Як правило, матеріали, які використовують для теплозахисного одягу, в результаті термодеструкції зазнають незворотних змін і утворюють карбонізований залишок. Тому температура на лицевій поверхні проб в момент наскрізного руйнування фактично характеризує температуру цього залишку. Показники температури залежать від температури джерела теплової енергії.

В результаті обробки експериментальних даних з'ясовано, що матеріали різних видів приймають різні значення температури. Залежність носить лінійний характер і описується рівнянням регресії першого ступеня:

- парусина брезентова арт.11119: $t_1(t_d) = 259,33 + 0,170 \cdot t_d$;
- парусина напівлляна арт.11201: $t_1(t_d) = 247,20 + 0,194 \cdot t_d$;
- тканина лляна металізована: $t_1(t_d) = 296,98 + 0,053 \cdot t_d$;
- сукно сіро-шинельне, арт.6425: $t_1(t_d) = 244,87 + 0,096 \cdot t_d$;
- сукно арт. 6426: $t_1(t_d) = 231,53 + 0,145 \cdot t_d$;
- полотно термостійке: $t_1(t_d) = 264,96 + 0,031 \cdot t_d$,

де t_1 - температура на лицевій поверхні проби під час наскрізного руйнування матеріалів, $^{\circ}\text{C}$; t_d - температура джерела теплової енергії, $^{\circ}\text{C}$.

Через деякий час проби досягають стаціонарної стадії нагрівання. Ця стадія характеризується тим, що температура на зовнішній та виворітній поверхнях матеріалу набуває сталих значень. Відмінності у показниках температури на лицевій поверхні проб пов'язані з видом матеріалу (табл. 5.5). В таблиці показники

температур матеріалів, які зруйнувались за термін 1500 с, представлені на сірому фоні.

Ці показники фактично характеризують температури карбонізованих залишків. Аналіз результатів випробувань при температурі джерела теплової енергії 400⁰С показує, що лицева поверхня проб набуває різних температур. Це пов'язане з тим, що матеріали різні за теплофізичними властивостями.

Таблиця 2.5

Температури на лицевій поверхні проб матеріалів в стаціонарній стадії
випробування при різній інтенсивності теплової дії

Назва матеріалу, артикул	Температура джерела теплової енергії, ⁰ С				
	400	500	600	700	800
	Температура на лицевій поверхні проб матеріалів, ⁰ С				
Парусина брезентова, арт.11119	259,1	327,7	391,3	460,0	525,3
Парусина напівляйна, арт.11201	260,0	333,2	398,7	470,4	534,6
Тканина лляна металізована	232,6	296,5	360,5	431,7	487,4
Сукно сірошинельне, арт.6425	258,2	323,1	390,0	455,8	520,8
Сукно, арт.6426	265,6	330,1	394,1	463,3	524,8
Полотно термостійке з волокон "Kevlar"	239,3	307,2	379,7	455,0	528,3
Тканина арт.3246	266,1	329,6	395,3	460,3	525,0
ТСТ-2 з волокон "Nomex"	238,0	304,3	374,1	439,2	513,4
Тканина фенілонова металізована	239,0	307,0	380,0	454,6	529,7
НУМ	275,6	339,6	404,7	470,2	535,6

Тканини, близькі за своєю природою, видом оздоблення та забарвленням (наприклад, парусини брезентові арт.11119 і арт.11201) набувають близьких значень показників температури (відповідно 259 і 260⁰С). Зазначена температура значно перевищує температуру руйнування волокон, з яких виготовлені ці матеріали (згідно даних [10] температура руйнування целюлозних волокон складає 170-180⁰С).

Необхідно відмітити, що парусини брезентові арт.11119 і арт.11201 оброблені антипіреном. Така обробка не тільки надає тканинам здатності не підтримувати горіння, а й суттєво підвищує температуру термодеструкції матеріалів. Це підтверджують дослідження інших вчених [**Ошибка! Закладка не определена.- Ошибка! Закладка не определена., Ошибка! Закладка не определена.**]. Слід зазначити також, що випробування матеріалів проведені в межах відносно невеликого терміну теплової дії на проби (1500 с). В межах цього терміну випробувань деструктивних змін, які б вплинули на механічні властивості матеріалів, не відмічено.

У тканини лляної металізованої на лицевій поверхні температура набуває значно меншого значення і складає 232,6⁰С. Матеріал має тепловідбивне алюмінієве покриття, яке відбиває значну частину теплової енергії, що надходить від джерела до проби.

Лицева поверхня вовняних тканин арт.6425, 6426 досягає температури відповідно: 258,2 і 265,6⁰С. Відносно близькі температури цих тканин відповідають однаковій природі матеріалів. Більш високу температуру лицевої поверхні тканини арт.6426 можливо пояснити кольором зазначених тканин. Тканина арт.6426 має чорний, а арт.6425 сірий колір. Чорний колір тканини сприяє кращому поглинанню тепла, зростанню температури на лицевій поверхні і інтенсифікації процесу теплопередачі.

У вовнофенілонової тканини арт.3246 температура на лицевій поверхні зростає до 266,1⁰С і близька до значення температури лицевої поверхні тканини арт.6426 при тій самій тепловій дії.

Тканина фенілонова металізована на лицевій поверхні набуває меншого значення температури в порівнянні з тканиною арт.3246. Ця температура дорівнює 239,0⁰С (теповідбивне алюмінієве покриття відбиває значну частину теплової енергії, що надходить від джерела до проби).

Температура лицевої поверхні синтетичних матеріалів - полотна термостійкого з волокон “Kevlar” та ТСТ-2 з волокон “Nomex” складає відповідно – 239,3 і 238,0⁰С.

У матеріалу НУМ це значення найвище серед досліджених матеріалів і складає 276°C . Ступінь чорноти цього матеріалу наближується до одиниці (проба поглинає практично всю теплову енергію, яка на неї діє).

Із збільшенням температури джерела теплової енергії температура лицевої поверхні проб зростає. Обробка експериментальних даних методами математичної статистики показала, що залежність температури на лицевій поверхні проби після досягнення стаціонарної стадії нагрівання від температури джерела описується рівнянням регресії першого ступеня і носить лінійний характер з коефіцієнтами, які залежать від виду матеріалу:

- парусина брезентова арт.11119: $t(t_d) = -6,14 + 0,6647 \cdot t_d$;
- парусина напівлляна арт.11201: $t(t_d) = -12,46 + 0,6864 \cdot t_d$;
- тканина лляна металізована: $t(t_d) = -25,14 + 0,6448 \cdot t_d$;
- сукно сіро-шинельне, арт.6425: $t(t_d) = -5,16 + 0,6579 \cdot t_d$;
- сукно арт. 6426: $t(t_d) = 4,62 + 0,6516 \cdot t_d$;
- полотно термостійке: $t(t_d) = -53,58 + 0,7258 \cdot t_d$;
- тканина арт.3246: $t(t_d) = -4,08 + 0,6517 \cdot t_d$;
- ТСТ-2 з волокон “Nomex”:
 $t(t_d) = -37,62 + 0,6857 \cdot t_d$;
- тканина фенілонова металізована: $t(t_d) = -55,34 + 0,7290 \cdot t_d$;
- НУМ: $t(t_d) = -13,40 + 0,6524 \cdot t_d$,

де t - температура на лицевій поверхні проби після досягнення стаціонарної стадії нагрівання, $^{\circ}\text{C}$; t_d - температура джерела теплової енергії, $^{\circ}\text{C}$.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ І ОЦІНКА ТЕПЛОЗАХИСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ

3.1. Дослідження і оцінка теплозахисних характеристик матеріалів

Розглянемо результати експериментального визначення показників теплозахисних характеристик матеріалів, обґрунтованих теоретично-методичними положеннями роботи та проаналізуємо отримані залежності.

У відносно комфортному стані людина перебуває при температурі, яка не перевищує температуру людського організму, тобто 36...37⁰С. Термін досягнення температури 37⁰С на виворітній поверхні, згідно Європейського стандарту EN 367, є однією з найважливіших характеристик матеріалу при перевірці його теплозахисних властивостей. За початкову температуру проб прийнята температура навколишнього середовища під час проведення експерименту, яка дорівнювала 20⁰С (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Термін досягнення температури 37⁰С на виворітній поверхні проб матеріалів при
різній інтенсивності теплової дії

Назва матеріалу, артикул	Температура джерела теплової енергії, ⁰ С				
	400	500	600	700	800
	Термін досягнення температури 37 ⁰ С на виворітній поверхні проби матеріалів, с				
1. Парусина брезентова, арт.11119	34,0	27,0	23,3	20,3	16,8
2. Парусина напівлляна, арт.11201	38,0	29,0	25,0	22,0	19,0
3. Тканина лляна металізована	58,3	50,3	46,8	43,8	42,3
4. Сукно сірошинельне, арт.6425	58,3	46,3	39,3	32,8	30,3
5. Сукно, арт.6426	81,3	74,3	70,3	67,8	64,3
6. Тканина арт.3246	60,3	44,3	34,3	27,3	22,3
7. Тканина фенілонова металізована	88,3	62,3	46,3	34,0	26,0
8. Полотно термостійке з волокон "Kevlar"	26,3	17,3	11,8	9,3	6,3
9. ТСТ-2 з волокон "Nomex"	31,3	21,3	16,3	11,8	8,8
10. НУМ	66,3	51,3	41,8	35,3	29,8

Дослідження, проведені в даній роботі показали, що термін досягнення температури 37⁰С на виворітній поверхні проб при певній температурі джерела теплової енергії у різних матеріалів має різні значення. За експериментальними показниками термостійкості всі матеріали витримують теплову дію при температурі

джерела 400°C . Розглянемо спочатку результати випробувань по визначенню терміну досягнення температури 37°C на виворітній поверхні проб матеріалів при такій тепловій дії. Це дозволить на цій стадії аналізу виключити вплив процесу термодеструкції матеріалів на результати випробувань.

В групі тканин з вмістом лляних волокон парусини арт.11119 і арт.11201 мають близькі значення показників термінів досягнення температури 37°C : відповідно 34 і 38 с. Ці матеріали близькі за сировинним складом і мають невелику різницю по товщині (арт.11119 – 0,82 мм; арт.11201 – 0,92 мм). Коефіцієнти теплопровідності цих тканин, Вт/(м·К): арт.11119 – 0,089, арт.11201 – 0,087; а температуропровідності, $\text{м}^2/\text{с}$, відповідно – 0,067 та 0,068.

У тканини лляної металізованої термін досягнення температури 37°C складає 58,3 с при товщині матеріалу – 0,55 мм. Металізація суттєво покращує показники зазначеної характеристики за рахунок відбиття більшої частини теплової енергії, яка спрямована на пробу. Крім того, коефіцієнт температуропровідності цього матеріалу нижчий, ніж у двох перших тканин і складає близько $0,055 \text{ м}^2/\text{с}$.

Із збільшенням інтенсивності теплової дії (температура джерела теплової енергії - 800°C) у лляної металізованої тканини термін підвищення температури до 37°C складає 42 с. У лляних тканин без металізації, не зважаючи на їх значно більшу товщину, зазначений термін становить: арт.11119 – 17с; арт.11201 – 19с. Близькі значення терміну досягнення температури 37°C на виворітній поверхні проб тканин арт. 11119 та 11201 можливо пояснити тим, що матеріали мають близькі значення коефіцієнтів температуропровідності.

Визначення показників терміну досягнення температури 37°C на виворітній поверхні проб при різній температурі джерела теплової енергії (400, 500, 600, 700, 800°C) дало можливість побудувати графіки (рис. 3.1).

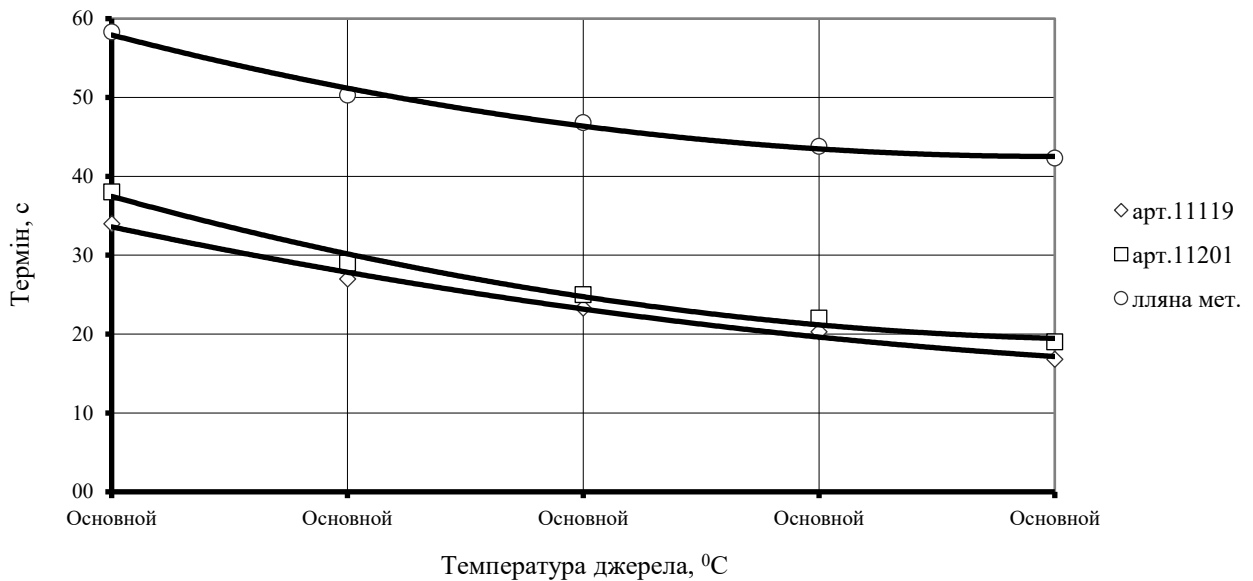


Рис.3.1. Залежність терміну досягнення температури 37°C на виворітній поверхні проб матеріалів першої групи від температури джерела теплової енергії

З матеріалів другої групи (вовняні і напіввовняні тканини) найкращі теплозахисні характеристики незаперечно має вовняна тканина арт.6426, термін підвищення температури виворітної поверхні якої до 37°C (при температурі джерела теплової енергії 400°C) складає 81 с. Аналогічна сировинна природа у сукна сірошинельного арт. 6425, але зазначена температура на його виворітній поверхні досягається за менший термін – 58 с. Кращий, з точки зору теплозахисних властивостей, показник цієї характеристики у тканини арт.6426 в порівнянні з арт.6425 пояснюється тим, що тканина арт.6426 має більше значення коефіцієнта температуропровідності. Крім того, матеріали суттєво відрізняються за товщиною. Товщина тканин: арт.6426 - 2,35 мм, арт.6425 – 1,44 мм.

Тканина арт.3246 при температурі джерела теплової енергії 400°C має друге (з групи вовняних і напіввовняних тканин) значення терміну досягнення температури 37°C на виворітній поверхні проби – 60 с. Але при температурі джерела теплової енергії 800°C показник цієї тканини найгірший в групі – 22 с. Наявність синтетичних волокон (фенілону) в тканині збільшує її температуропровідність при підвищенні температури (рис. 3.2).

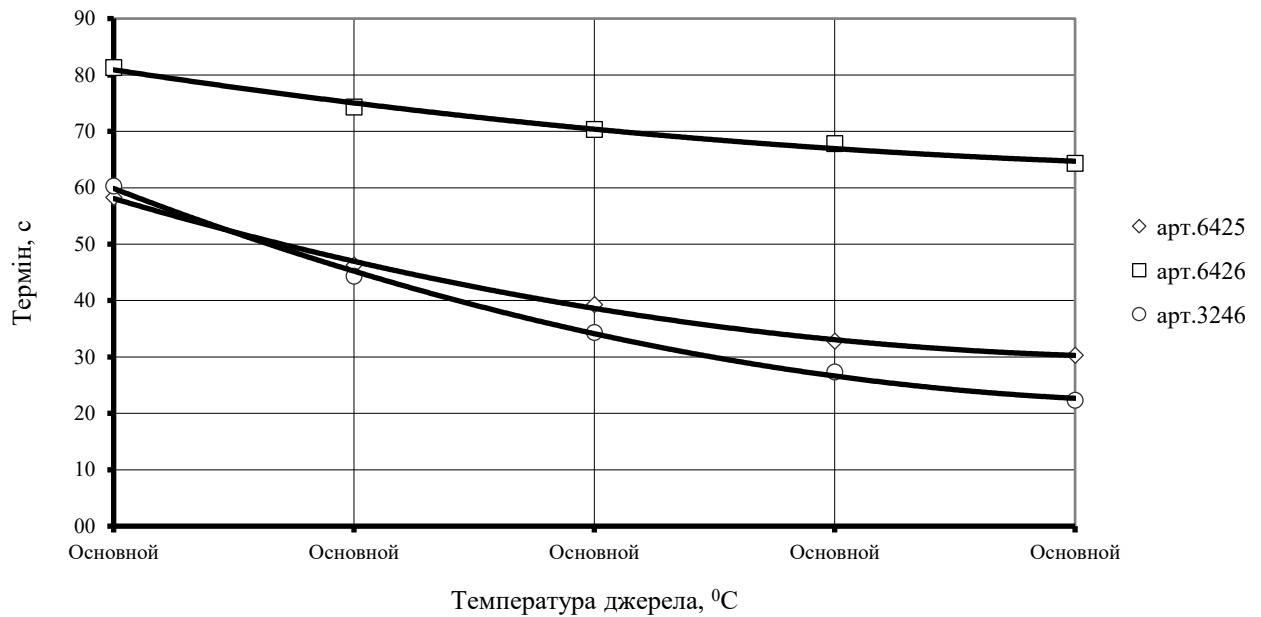


Рис.3.2. Залежність терміну досягнення температури 37°C на виворітній поверхні проб матеріалів другої групи від температури джерела теплової енергії

З синтетичних матеріалів (третя група) при температурі джерела теплової дії 400°C найкращі показники має металізована фенілонова тканина – 88 с (товщина – 0,42 мм). У нетканого вуглецевого матеріалу типу НУМ (товщиною 2,25 мм) при тій самій температурі теплової дії цей показник дорівнює 66с. Металізація значно покращує теплозахисні показники матеріалів. Полотно термостійке з волокон “Kevlar” і ТСТ-2 з волокон “Nomex” за цією характеристикою, з точки зору теплозахисних властивостей, мають найгірші показники. При температурі теплової дії 400°C термін досягнення 37°C складає відповідно 26 і 31 с.

Із збільшенням інтенсивності теплової дії спостерігається зменшення терміну досягнення температури 37°C у всіх матеріалів групи (рис. 3.3).

При температурі джерела теплової енергії до 800°C у тканини фенілонової металізованої термін підвищення температури до 37°C складає 26 с, у нетканого вуглецевого матеріалу типу НУМ – до 30 с, у матеріалів типу полотно термостійке з волокон “Kevlar” і ТСТ-2 з волокон “Nomex” термін зменшується, відповідно, до 6 і 9 с.

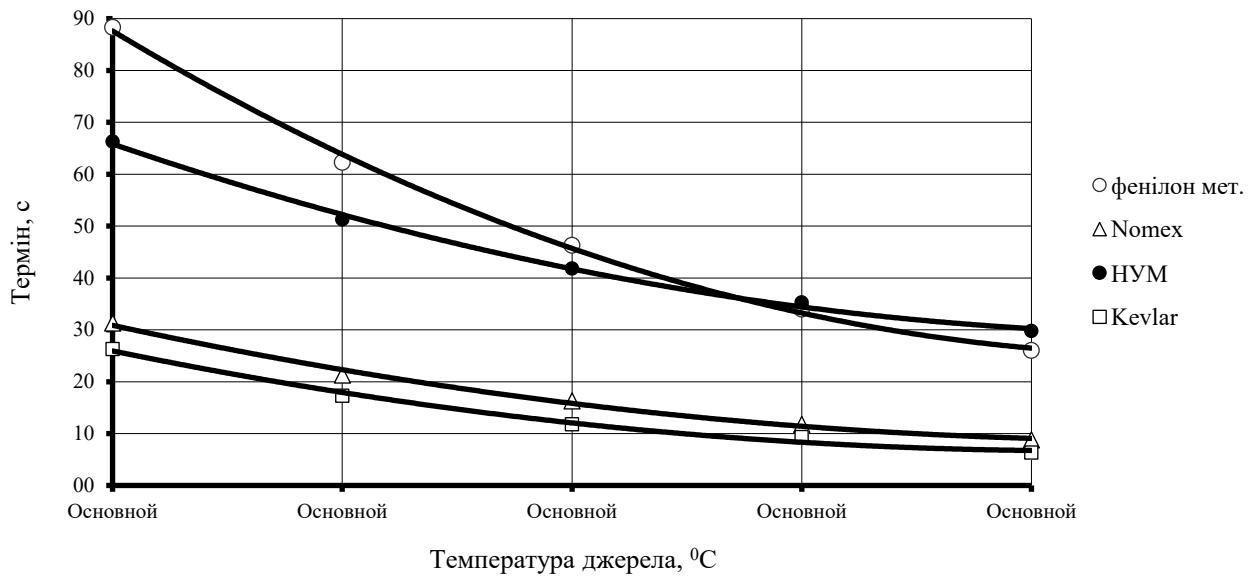


Рис.3.3. Залежність терміну досягнення температури 37⁰С на виворітній поверхні проб матеріалів третьої групи від температури джерела теплової енергії

Всі залежності термінів досягнення температури 37⁰С на виворітній поверхні всіх матеріалів від температури джерела теплової енергії описуються рівняннями другого ступеня:

- парусина брезентова арт.11119: $\tau_1(t_d) = 70,6571 - 0,118 \cdot t_d + 0,00006 \cdot t_d^2$;
- парусина напівлляна арт.11201: $\tau_1(t_d) = 85,1714 - 0,156 \cdot t_d + 0,00009 \cdot t_d^2$;
- тканина лляна металізована: $\tau_1(t_d) = 100,1429 - 0,141 \cdot t_d + 0,00009 \cdot t_d^2$;
- сукно сіро-шинельне, арт.6425: $\tau_1(t_d) = 128,7428 - 0,232 \cdot t_d + 0,00014 \cdot t_d^2$;
- сукно арт. 6426: $\tau_1(t_d) = 114,8285 - 0,108 \cdot t_d + 0,00006 \cdot t_d^2$;
- тканина арт.3246: $\tau_1(t_d) = 153,9142 - 0,307 \cdot t_d + 0,00018 \cdot t_d^2$;
- тканина фенолонова металізована: $\tau_1(t_d) = 239,5429 - 0,495 \cdot t_d + 0,00029 \cdot t_d^2$;
- полотно термостійке: $\tau_1(t_d) = 76,8000 - 0,168 \cdot t_d + 0,00010 \cdot t_d^2$;
- ТСТ-2 з волокон “Nomex”: $\tau_1(t_d) = 86,0286 - 0,182 \cdot t_d + 0,00011 \cdot t_d^2$;
- НУМ: $\tau_1(t_d) = 148,2000 - 0,267 \cdot t_d + 0,00015 \cdot t_d^2$,

де τ_1 - термін досягнення температури 37⁰С на виворітній поверхні, с; t_d - температура джерела теплової енергії, °С.

Було з'ясовано допустимі параметри теплової дії на шкіру людини. Відповідно визначені показники, перевищення яких може призвести до опіку шкіри.

Одним з таких показників є температура 50⁰С на виворітній поверхні проби. Термін досягнення температури 50⁰С на виворітній поверхні є однією з важливих характеристик матеріалу при перевірці його теплозахисних властивостей.

При температурі джерела теплової енергії 400⁰С кращі показники мають: тканина лляна металізована - 103,5 с; сукно арт.6426 - 127,5 с; тканина фенілонова металізована –123,0 с (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Терміни досягнення температури 50⁰С на виворітній поверхні проб матеріалів при різній інтенсивності теплової дії

Назва матеріалу, артикул	Температура джерела теплової енергії, ⁰ С				
	400	500	600	700	800
	Термін досягнення температури 50 ⁰ С, с				
1. Парусина брезентова, арт.11119	66,3	50,8	41,8	33,5	28,3
2. Парусина напівлляна, арт.11201	67,8	52,5	42,8	36,0	30,3
3. Тканина лляна металізована	103,5	84,5	73,8	65,5	60,0
4. Сукно сірошинельне, арт.6425	99,8	76,5	60,0	49,5	42,5
5. Сукно, арт. 6426	127,5	111,0	101,0	94,5	88,0
6. Тканина арт.3246	83,8	65,0	53,5	44,0	40,0
7. Тканина фенілонова металізована	123,0	88,8	67,8	53,3	42,0
8. Полотно термостійке з волокон “Kevlar”	63,5	40,5	26,5	15,8	8,5
9. ТСТ-2 з волокон “Nomex”	55,8	39,3	29,8	21,8	17,3
10. НУМ	90,3	73,8	64,0	54,5	52,5

У лляної металізованої тканини термін підвищення температури до 50⁰С при тій самій температурі теплової дії складає 60 с. У лляних тканин без металізації зазначений термін дорівнює відповідно 30 і 28 с (рис. 3.4).

За показниками цієї характеристики, як і попередньої, найкращі теплозахисні властивості має вовняна тканина арт.6426 (термін досягнення 50⁰С складає 88 с, температура теплової дії 800⁰С).

При тій самій температурі теплової дії проба сукна сірошинельного арт.6425 досягає температури 50⁰С на виворітній поверхні за значно менший термін – 42 с (рис. 3.5).

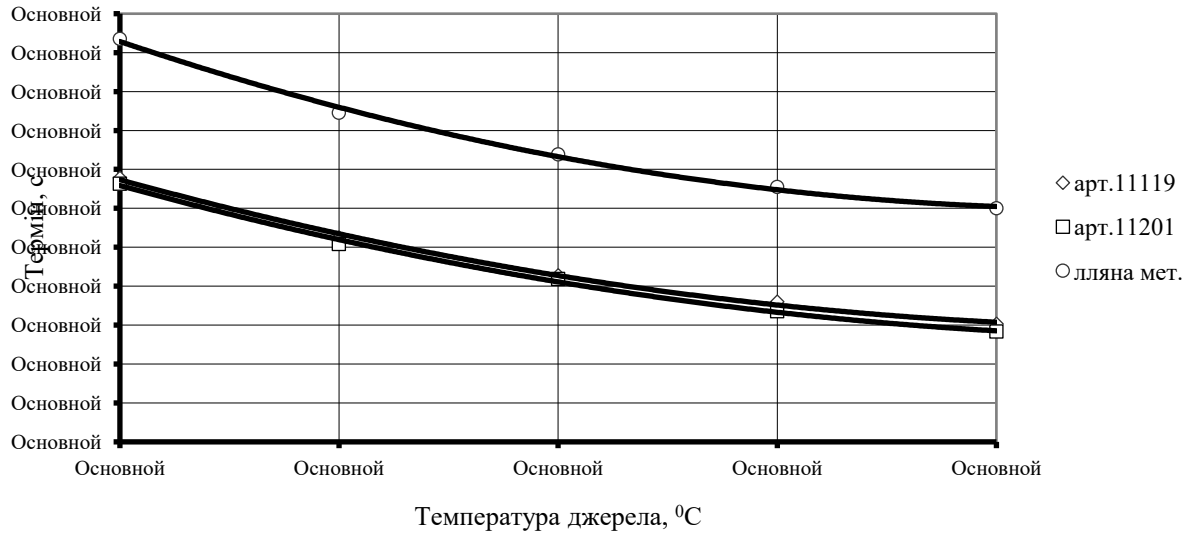


Рис.3.4. Залежність терміну досягнення температури 50°C на виворітній поверхні проб матеріалів першої групи від температури джерела теплової енергії

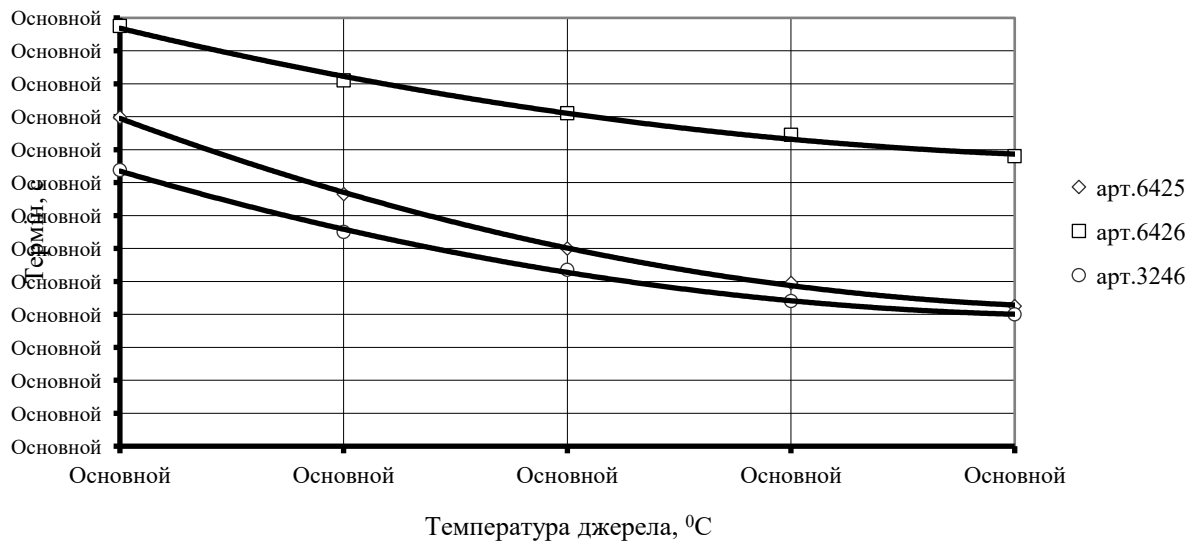


Рис.3

3.5. Залежність терміну досягнення температури 50°C на виворітній поверхні проб матеріалів другої групи від температури джерела теплової енергії

У матеріалів типу полотна термостійкого з волокон “Kevlar” і ТСТ-2 з волокон “Nomex” - 8 і 17 с відповідно. У вуглецевого нетканого матеріалу типу НУМ цей показник дорівнює 53 с (рис. 3.6).

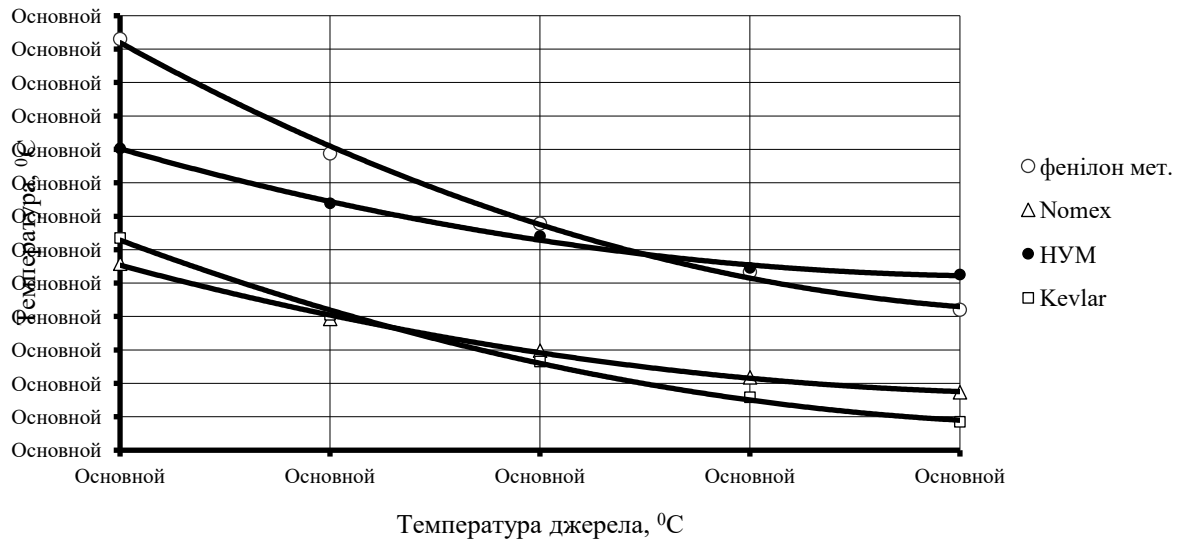


Рис.3.6. Залежність терміну досягнення температури 50⁰С на виворітній поверхні проб матеріалів третьої групи від температури джерела теплової енергії

Всі залежності термінів досягнення температури 50⁰С (як і 37⁰С) на виворітній поверхні всіх матеріалів від температури джерела теплової енергії описуються рівняннями другого ступеня:

- парусина брезентова арт.11119: $\tau_2(t_d) = 147,771 - 0,263 \cdot t_d + 0,00014 \cdot t_d^2$;
- парусина напівлляна арт.11201: $\tau_2(t_d) = 154,429 - 0,281 \cdot t_d + 0,00016 \cdot t_d^2$;
- тканина лляна металізована: $\tau_2(t_d) = 214,057 - 0,363 \cdot t_d + 0,00021 \cdot t_d^2$;
- сукно сіро-шинельне, арт.6425: $\tau_2(t_d) = 243,086 - 0,468 \cdot t_d + 0,00027 \cdot t_d^2$;
- сукно арт. 6426: $\tau_2(t_d) = 222,114 - 0,309 \cdot t_d + 0,00018 \cdot t_d^2$;
- тканина арт.3246: $\tau_2(t_d) = 195,057 - 0,365 \cdot t_d + 0,00021 \cdot t_d^2$;
- тканина фенолонова металізована: $\tau_2(t_d) = 325,143 - 0,661 \cdot t_d + 0,00039 \cdot t_d^2$;
- полотно термостійке: $\tau_2(t_d) = 190,514 - 0,411 \cdot t_d + 0,00023 \cdot t_d^2$;
- ТСТ-2 з волокон “Nomex”:
 $\tau_2(t_d) = 150,514 - 0,309 \cdot t_d + 0,00018 \cdot t_d^2$;
- НУМ:
 $\tau_2(t_d) = 209,829 - 0,401 \cdot t_d + 0,00026 \cdot t_d^2$;

де τ_2 - термін досягнення температури 50⁰С на виворітній поверхні, с; t_d - температура джерела теплової енергії, ⁰С.

Європейський стандарт EN 367 передбачає, як одну з характеристик теплозахисних властивостей, використовувати різницю часу досягнення температур 37 і 50⁰C (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Різниця часу досягнення температур 37 і 50⁰C на виворітній поверхні проб матеріалів при різній інтенсивності теплової дії

Назва матеріалу, артикул	Температура джерела теплової енергії, ⁰ C				
	400	500	600	700	800
	Різниця часу досягнення температур 37 і 50 ⁰ C, с				
1. Парусина брезентова, арт.11119	32,3	23,8	18,5	13,3	11,5
2. Парусина напівляня, арт.11201	29,8	23,5	17,8	14,0	11,3
3. Тканина лляна металізована	45,3	34,3	27,0	21,8	17,8
4. Сукно сірошинельне, арт.6425	41,5	30,3	20,8	16,8	12,3
5. Сукно, арт. 6426	46,3	36,8	30,8	26,8	23,8
6. Тканина арт.3246	23,5	20,8	19,3	16,8	17,8
7. Тканина фенілонова металізована	34,8	26,5	21,5	19,3	16,0
8. Полотно термостійке з волокон “Kevlar”	37,3	23,3	14,8	6,5	2,3
9. ТСТ-2 з волокон “Nomex”	24,5	18,0	13,5	10,0	8,5
10. НУМ	24,0	22,5	22,3	19,3	22,8

Згідно цього стандарту, теплозахисні властивості матеріалу або пакета матеріалів, оцінюють позитивно у випадку, коли різниця часу досягнення зазначених температур дорівнює не менше 4 с. Ці випробування передбачають проводити при величині теплового потоку 80 кВт/м². В умовах проведення експерименту величина теплового потоку 80 кВт/м² відповідає температурі джерела теплової енергії 786⁰C (величина теплового потоку перевірена шляхом допоміжних експериментів).

За цією характеристикою, всі матеріали, які досліджувались, можливо оцінити позитивно. Різниця часу досягнення температур 37 і 50⁰C на виворітній поверхні проб всіх матеріалів, окрім полотна термостійкого з волокон “Kevlar”, перевищує 4 с. У полотна термостійкого з волокон “Kevlar” ця різниця часу дорівнює 3 с.

У лляних тканин арт.11119 і арт.11201 зазначений термін при температурі теплової дії 800⁰C практично однаковий і дорівнює відповідно 11,5 та 11,3 с. Максимальна різниця часу досягнення температур 37⁰C і 50⁰C у цих матеріалів складає 2 с при температурі джерела теплової енергії 400⁰C (рис. 3.7).

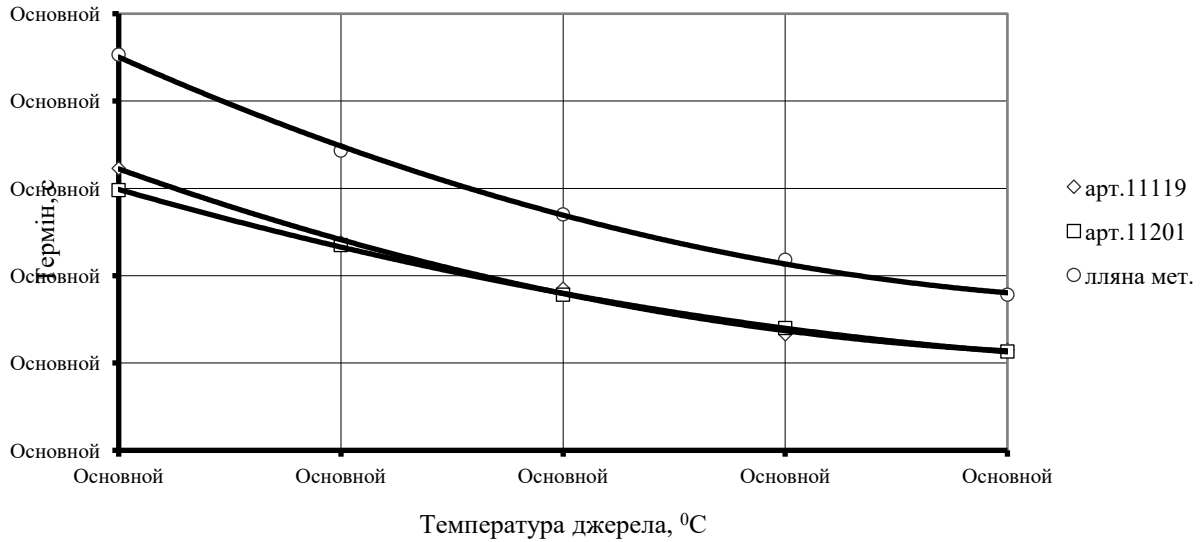


Рис.3.7. Залежність різниці часу досягнення температур 37 і 50°C на виворітній поверхні проб матеріалів першої групи від температури джерела теплової енергії

Близькі значення різниці часу тканин арт.11119 та арт.11201 можна пояснити майже однаковим сировинним складом, близькими геометричними і фізичними характеристиками матеріалів, в тому числі теплофізичними.

З матеріалів другої групи (вовняні тканини) за різницею часу досягнення температур 37 і 50°C найкращі показники має вовняна тканина арт.6426. Величина показника цієї тканини складає 24 с (рис. 3.8).

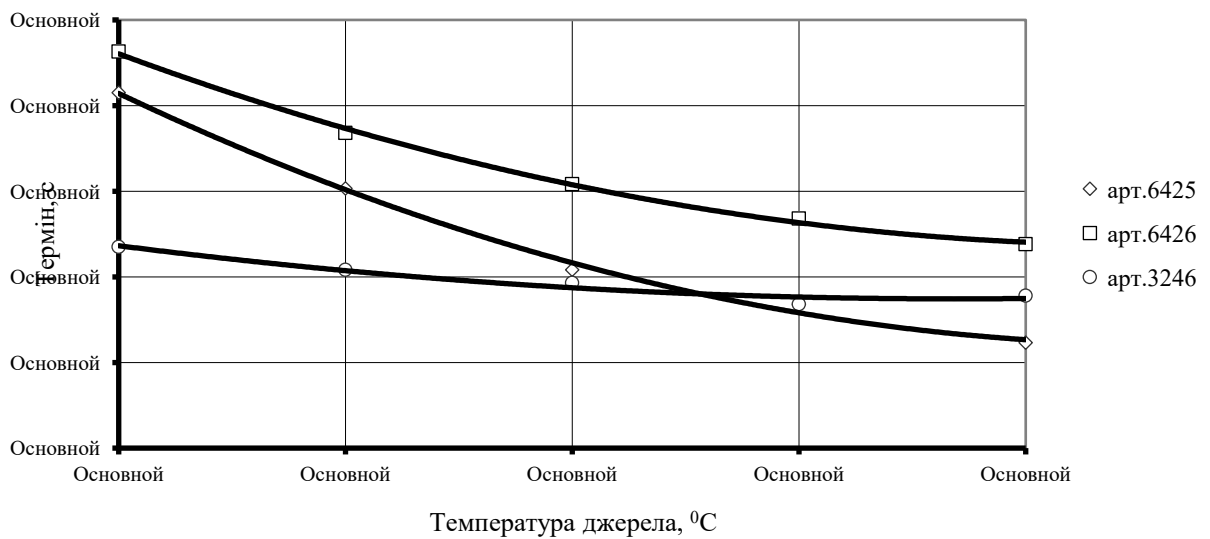


Рис.3.8. Залежність різниці часу досягнення температур 37 і 50°C на виворітній поверхні проб матеріалів другої групи від температури джерела теплової енергії

Сукно сірошинельне арт.6425 має аналогічну природу. Однак різниця часу температур 37° і 50°С на її виворітній поверхні дорівнює – 12 с. Кращий, з точки зору теплозахисних властивостей показник цієї характеристики, у тканини арт.6426 в порівнянні з тканиною арт.6425, пояснюється суттєвою різницею у товщині тканин. Тканина арт. 3246, як і за попередніми характеристиками, займає проміжне місце серед тканин з вовняних волокон.

У матеріалі ТСТ-2 з волокон “Nomex” різниця часу при температурі теплової дії 800°С дорівнює 8 с (рис.3.9)

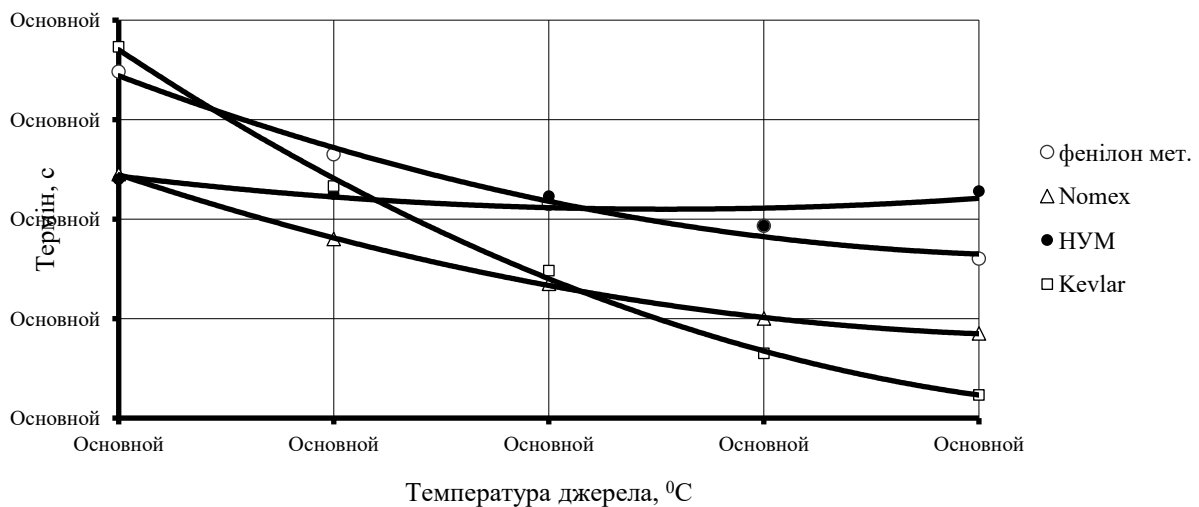


Рис.3.9. Залежність різниці часу досягнення температур 37 і 50°С на виворітній поверхні проб матеріалів третьої групи від температури джерела теплової енергії

Як було зазначено, металізація тканин покращує теплозахисні характеристики. У металізованих тканин (фенілонової і лляної) різниця часу досягнення температур 37 і 50°С при температурі теплової дії 800°С складає 16 і 18 с відповідно і є кращою, ніж в тканин без металізації.

У вуглецевого нетканого матеріалу типу НУМ (товщиною 2,25 мм) при температурі теплової дії 800°С цей показник дорівнює 23 с.

Всі залежності різниці часу досягнення температур 37 і 50°С на виворітній поверхні проб від температури джерела теплової дії можна описати рівням другого порядку:

$$\text{- парусина брезентова арт.11119:} \quad \tau(t_d) = 83,926 - 0,168 \cdot t_d + 0,00010 \cdot t_d^2;$$

- парусина напівлляна арт.11201: $\tau(t_d) = 69,280 - 0,125 \cdot t_d + 0,00007 \cdot t_d^2$;
- тканина лляна металізована: $\tau(t_d) = 108,840 - 0,206 \cdot t_d + 0,00012 \cdot t_d^2$;
- сукно сіро-шинельне, арт.6425: $\tau(t_d) = 144,794 - 0,239 \cdot t_d + 0,00014 \cdot t_d^2$;
- сукно арт. 6426: $\tau(t_d) = 102,329 - 0,184 \cdot t_d + 0,00011 \cdot t_d^2$;
- тканина арт.3246: $\tau(t_d) = 42,094 - 0,062 \cdot t_d + 0,00004 \cdot t_d^2$;
- тканина фенілонова металізована: $\tau(t_d) = 81,586 - 0,155 \cdot t_d + 0,00009 \cdot t_d^2$;
- полотно термостійке: $\tau(t_d) = 112,348 - 0,239 \cdot t_d + 0,00013 \cdot t_d^2$;
- ТСТ-2 з волокон “Nomex”:
 $\tau(t_d) = 65,614 - 0,134 \cdot t_d + 0,00008 \cdot t_d^2$;
- НУМ: $\tau(t_d) = 55,417 - 0,112 \cdot t_d + 0,00009 \tau_2 \cdot t_d^2$;

де τ - різниця часу досягнення температур 37 і 50⁰С на виворітній поверхні проб, с; t_d - температура джерела теплової енергії, ⁰С.

На нашу думку, ця характеристика не несе в собі нової інформації щодо теплозахисних властивостей матеріалів і, по суті, повторює результати попередніх характеристик.

Температура на виворітній поверхні проби за термін дії джерела теплової енергії 10 с показує швидкість прогрівання матеріалів (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Температура на виворітній поверхні проби матеріалів за термін нагрівання 10 с при різній інтенсивності теплової дії

Назва матеріалу, артикул	Температура джерела теплової енергії, ⁰ С				
	400	500	600	700	800
	Температура на виворітній поверхні проби матеріалів (термін нагрівання 10 с), ⁰ С				
1. Парусина брезентова, арт.11119	31,5	31,8	32,5	33,7	35,7
2. Парусина напівлляна, арт.11201	32,0	32,5	33,5	36,0	38,6
3. Тканина лляна металізована	25,9	26,4	26,9	27,8	28,8
4. Сукно сірошинельне, арт.6425	30,1	30,5	31,1	31,7	32,5
5. Сукно, арт. 6426	28,9	29,2	29,8	30,4	31,6
6. Тканина арт.3246	28,4	28,4	28,9	30,2	31,6
7. Тканина фенілонова металізована	26,4	26,8	27,5	28,3	29,3
8. Полотно термостійке з волокон “Kevlar”	33,8	33,5	36,0	40,1	47,0
9. ТСТ-2 з волокон “Nomex”	31,5	32,4	36,1	41,0	49,2
10. НУМ	29,3	29,8	31,0	33,1	36,2

Серед досліджених матеріалів найменше зростання температури спостерігається у тканин металізованих. При температурі джерела теплової енергії 400⁰С за 10 с теплової дії температура на виворітній поверхні проби у тканини лляної металізованої зростає від 20 до 25,9⁰С; у тканини фенілонової металізованої від 20 до 26,4⁰С. Серед досліджених матеріалів найменше зростання температури спостерігається у тканин металізованих. Серед досліджених матеріалів найменше зростання температури спостерігається у тканин металізованих.

При температурі джерела теплової енергії 400⁰С за 10 с теплової дії температура на виворітній поверхні проби у тканини лляної металізованої зростає від 20 до 25,9⁰С; у тканини фенілонової металізованої - від 20 до 26,4⁰С. З матеріалів без металізації при тій самій тепловій дії найменші (кращі) показники мають: тканина арт.3246 – 28,4⁰С; сукно арт. 6426 - 28,9⁰С; нетканий вуглецевий матеріал НУМ - 29,3⁰С.

При збільшенні температури джерела теплової енергії до 800⁰С температура на виворітній поверхні зростає у тканини лляної металізованої до 28,8⁰С; у тканини фенілонової металізованої до 29,3⁰С. З матеріалів без металізації при тій самій тепловій дії найменші (кращі) показники мають: тканина арт.3246 – 31,6⁰С; сукно арт. 6426 - 31,6⁰С; нетканий вуглецевий матеріал НУМ –36,2⁰С.

З рис. 3.10–3.12 видно, що із збільшенням інтенсивності теплової дії температура на виворітній поверхні проб матеріалів за термін нагрівання 10с зростає.

Близькі значення температур на виворітній поверхні проб мають матеріали арт.11119 і арт.11201 (рис. 3.10).

Друга група тканин (рис. 3.11) також має близькі показники температур на виворітній поверхні. Тканини мають близькі значення коефіцієнтів температуропровідності. Тканини з вмістом вовняних волокон мають температуру на виворітній поверхні на десятій секунді дії меншу, ніж тканини з вмістом лляних волокон.

З матеріалів третьої групи найвищі значення показника має полотно термостійке з волокон “Kevlar”(рис.3.12).

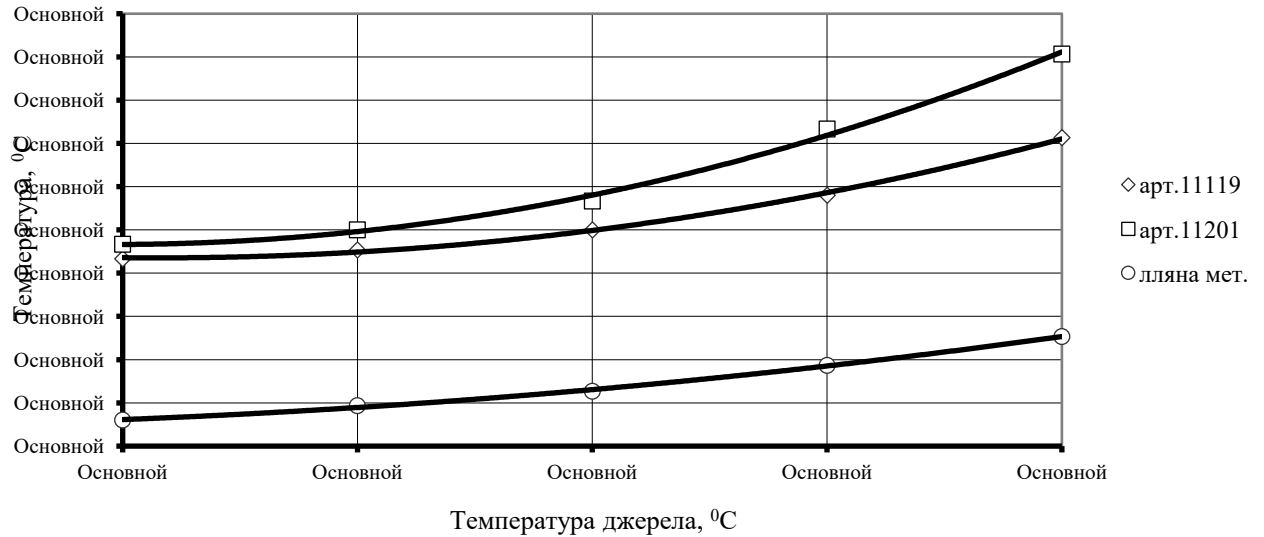


Рис.3.10. Залежність температури на виворітній поверхні проб матеріалів першої групи за термін нагрівання 10 с від температури джерела теплової енергії

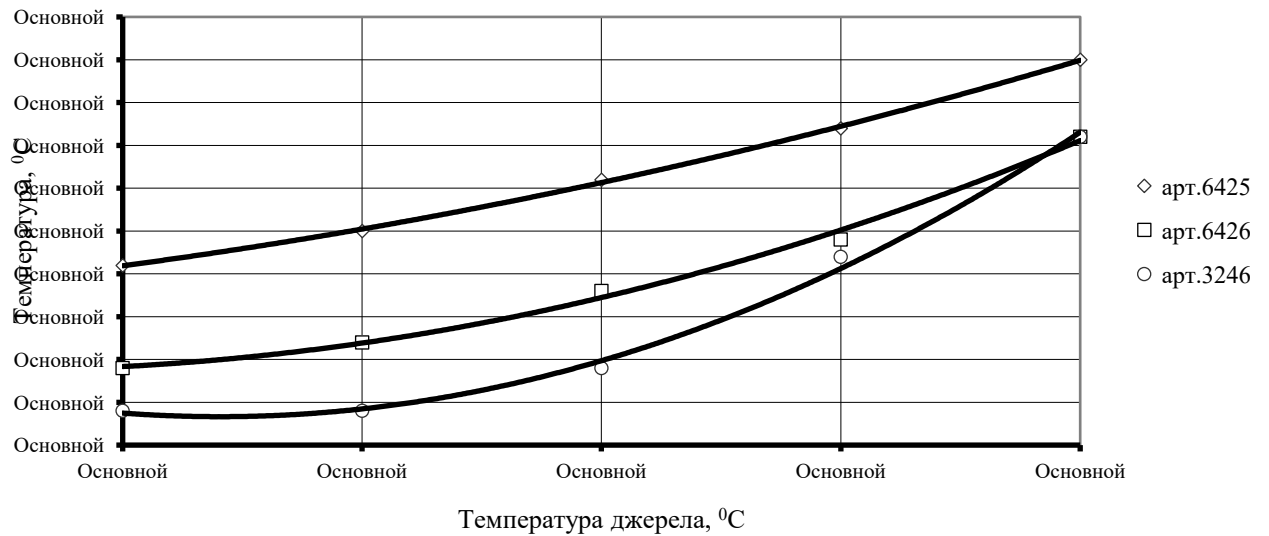


Рис.3.11. Залежність температури на виворітній поверхні проб матеріалів другої групи за термін нагрівання 10 с від температури джерела теплової енергії

Хоча вказані матеріали мають різну товщину, значення температури близькі один до одного. Це можна пояснити тим, що тепловий опір цих тканин має близькі значення. НУМ має практично такі ж самі значення показника температури на виворітній поверхні проби як лляні волокна, хоча товщина цих матеріалів відрізняється. Це можна пояснити більшою теплоємністю вуглецевих волокон, що входять до складу матеріалу НУМ.

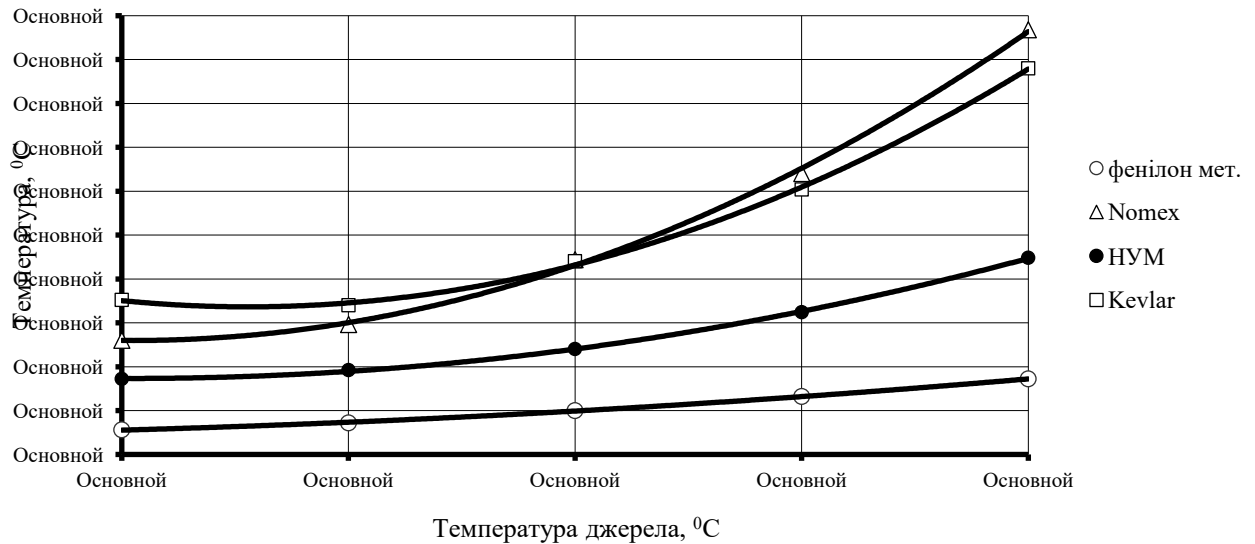


Рис.3.12. Залежність температури на виворітній поверхні проб матеріалів третьої групи за термін нагрівання 10 с від температури джерела теплової енергії

Загальною тенденцією для матеріалів усіх трьох груп є підвищення температури на виворітній поверхні проби з підвищенням температури джерела теплової енергії. Однак, приріст температури металізованих тканин нижчий, ніж в тих, де таке покриття відсутнє.

Найбільш швидко температура зростає у полотна термостійкого з волокон “Kevlar” і ТСТ-2 з волокон “Nomex”. Синтетичні матеріали мають значно вищі значення коефіцієнтів теплопровідності у порівнянні з природними, і, відповідно, більш високу швидкість зростання температури на виворітній поверхні проби.

Повільніше всіх за даний проміжок часу прогріваються матеріали: льон металізований та фенілон металізований, що пов’язано із здатністю алюмінієвого покриття зазначених матеріалів відбивати теплове випромінювання.

Вовняні (арт.6425, арт.6426) та вовнянофенілонова (арт.3246) тканини показали приблизно однакові результати. Близькі значення температури цих матеріалів на виворітній поверхні проб після 10 с теплової дії показують, що на нестационарній стадії (особливо на її початку) у матеріалів з низькою теплопровідністю товщина мало впливає на швидкість зростання температури. На цій стадії іде інтенсивний процес прогрівання самих верхніх шарів матеріалів.

Характер зміни температури на виворітній поверхні проби в залежності від температури джерела теплової енергії з достатньою точністю можна описати рівнянням регресії другого порядку з коефіцієнтами, які залежать від виду матеріалу:

- парусина брезентова арт.11119: $t_{10}(t_d) = 36,331 - 0,023 \cdot t_d + 0,00003 \cdot t_d^2$;
- парусина напівлляна арт.11201: $t_{10}(t_d) = 38,343 - 0,032 \cdot t_d + 0,00004 \cdot t_d^2$;
- тканина лляна металізована: $t_{10}(t_d) = 26,240 - 0,005 \cdot t_d + 0,00001 \cdot t_d^2$;
- сукно сіро-шинельне, арт.6425: $t_{10}(t_d) = 29,523 - 0,0009 \cdot t_d + 0,00001 \cdot t_d^2$;
- сукно арт. 6426: $t_{10}(t_d) = 29,926 - 0,007 \cdot t_d + 0,00001 \cdot t_d^2$;
- тканина арт.3246: $t_{10}(t_d) = 33,323 - 0,023 \cdot t_d + 0,00003 \cdot t_d^2$;
- тканина фенілонова металізована: $t_{10}(t_d) = 26,437 - 0,004 \cdot t_d + 0,00001 \cdot t_d^2$;
- полотно термостійке: $t_{10}(t_d) = 57,137 - 0,104 \cdot t_d + 0,00011 \cdot t_d^2$;
- ТСТ-2 з волокон “Nomex”:
 $t_{10}(t_d) = 50,011 - 0,091 \cdot t_d + 0,00011 \cdot t_d^2$;
- НУМ: $t_{10}(t_d) = 36,434 - 0,035 \cdot t_d + 0,00004 \cdot t_d^2$;

де t_{10} - температура на виворітній поверхні проби матеріалів за термін нагрівання 10 с, $^{\circ}\text{C}$; t_d - температура джерела теплової енергії, $^{\circ}\text{C}$.

Однією із теплозахисних характеристик матеріалів є захисний індекс, який визначають як відношення кількості тепла, що заблоковано матеріалом до кількості тепла, що діє на його лицеву поверхню (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Значення показників захисного індексу матеріалів
при різній інтенсивності теплової дії

Назва матеріалу, артикул	Температура джерела теплової енергії, $^{\circ}\text{C}$				
	400 $^{\circ}\text{C}$	500 $^{\circ}\text{C}$	600 $^{\circ}\text{C}$	700 $^{\circ}\text{C}$	800 $^{\circ}\text{C}$
Захисний індекс проб матеріалів, %					
1. Парусина брезентова, арт.11119	99,34	99,32	99,28	99,16	98,98
2. Парусина напівлляна, арт.11201	99,41	99,38	99,30	99,15	98,89
3. Тканина лляна металізована	99,83	99,83	99,76	99,70	99,61
4. Сукно сірошинельне, арт.6425	99,85	99,81	99,75	99,69	99,65
5. Сукно, арт.6426	99,86	99,84	99,81	99,76	99,73
6. Тканина арт.3246	99,82	99,76	99,66	99,51	99,46
7. Тканина фенілонова металізована	99,83	99,78	99,74	99,62	99,51
8. Полотно термостійке з волокон “Kevlar”	98,93	98,60	98,40	98,09	97,56
9. ТСТ-2 з волокон “Nomex”	99,23	99,14	98,98	98,85	98,69
10. НУМ	99,80	99,78	99,76	99,72	99,63

Захисний індекс матеріалів, розрахований на період часу 10 с, змінюється в інтервалі 97,56% для матеріалу типу Kevlar і до 99,7% у тканини арт.6426 (рис.3.13).

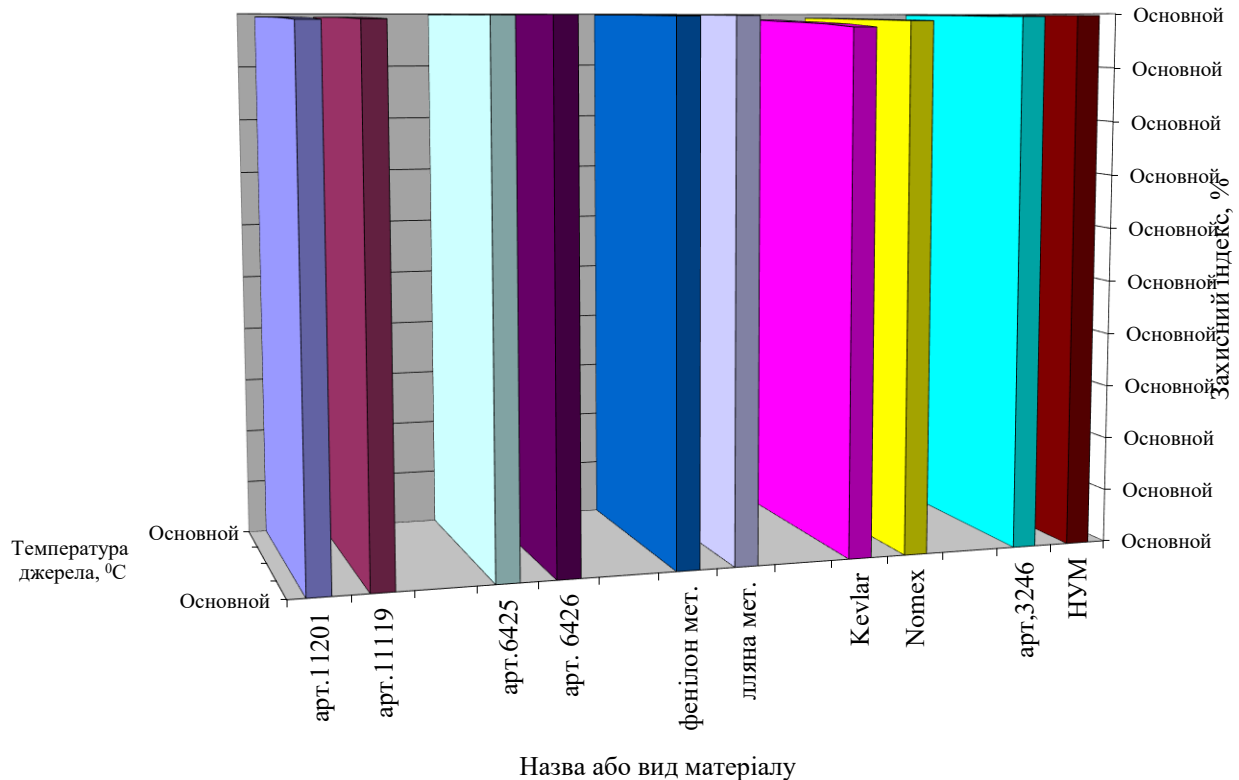


Рис. 3.13. Величини захисного індексу матеріалів

Дослідження показують, що в перші 10 с від початку теплової дії, більшість тепла витрачається на нагрівання матеріалів. Тому температура на внутрішній поверхні проби збільшується повільно. Загальним для всіх досліджених матеріалів є зниження теплозахисних властивостей з ростом температури джерела теплової енергії. Характер зміни величини захисного індексу матеріалів в залежності від температури джерела теплової дії з достатньою точністю можна описати рівнянням регресії другого порядку з коефіцієнтами, які залежать від виду матеріалу:

- парусина брезентова арт.11119: $I_{\text{зах}}(t_{\text{д}}) = 98,42 - 0,0036 \cdot t_{\text{д}} + 0,000005 \cdot t_{\text{д}}^2;$
- парусина напівлляна арт.11201: $I_{\text{зах}}(t_{\text{д}}) = 98,50 - 0,0039 \cdot t_{\text{д}} + 0,000006 \cdot t_{\text{д}}^2;$
- тканина лляна металізована: $I_{\text{зах}}(t_{\text{д}}) = 99,68 - 0,0009 \cdot t_{\text{д}} + 0,000001 \cdot t_{\text{д}}^2;$
- сукно сіро-шинельне, арт.6425: $I_{\text{зах}}(t_{\text{д}}) = 99,94 - 0,0002 \cdot t_{\text{д}} + 0,000001 \cdot t_{\text{д}}^2;$
- сукно арт.6426: $I_{\text{зах}}(t_{\text{д}}) = 100,04 - 0,0004 \cdot t_{\text{д}} + 0,000001 \cdot t_{\text{д}}^2;$

- тканина арт.3246: $I_{\text{зах}}(t_{\text{д}}) = 100,15 - 0,0007 \cdot t_{\text{д}} + 0,000001 \cdot t_{\text{д}}^2$;
- тканина фенілонова металізована: $I_{\text{зах}}(t_{\text{д}}) = 99,67 - 0,0009 \cdot t_{\text{д}} + 0,000001 \cdot t_{\text{д}}^2$;
- полотно термостійке: $I_{\text{зах}}(t_{\text{д}}) = 98,97 - 0,0012 \cdot t_{\text{д}} + 0,000004 \cdot t_{\text{д}}^2$;
- ТСТ-2 з волокон “Nomex”:
 $I_{\text{зах}}(t_{\text{д}}) = 99,21 - 0,0005 \cdot t_{\text{д}} + 0,000001 \cdot t_{\text{д}}^2$;
- НУМ:
 $I_{\text{зах}}(t_{\text{д}}) = 99,59 - 0,0009 \cdot t_{\text{д}} + 0,000001 \cdot t_{\text{д}}^2$;

де $I_{\text{зах}}$ - захисний індекс матеріалів, розрахований на період часу 10 с, змінюється, %;
 $t_{\text{д}}$ - температура джерела теплової енергії, °С.

Різниця в абсолютних значеннях показників захисного індексу незначна і знаходиться в межах 2,2% від загальної кількості тепла, що діє на матеріали.

3.2. Моделювання процесу теплопередачі крізь матеріали

Процес теплопередачі крізь матеріали спецодягу може бути досліджений шляхом математичного моделювання. Математичне моделювання особливо важливе в тих випадках, коли безпосереднє дослідження матеріалів важко провести з технічних чи економічних причин [7].

Математичну модель можливо використовувати при оптимізації складу пакета спецодягу [3]. Так, якщо для пакета запропоновано використати декілька шарів матеріалів (тканина верху, прокладка, підкладка) і для кожного з них є декілька різних матеріалів з відомими теплофізичними характеристиками, то кількість дослідів можна розрахувати за формулою:

$$K_{\text{дос}} = M_{\text{в}} \cdot M_{\text{нр}1} \cdot M_{\text{нр}2} \cdot \dots \cdot M_{\text{нр}i} \cdot M_{\text{нід}} \cdot K_{\text{тд}}, \quad (3.1)$$

де $M_{\text{в}}$ - число видів матеріалів верху;

$M_{\text{нр}i}$ - число видів кожного з i шарів матеріалів прокладки;

$M_{\text{нід}}$ - число видів матеріалів підкладки;

$K_{\text{тд}}$ - число видів досліджень при різних температурах джерела теплової дії.

З формули видно, що кількість дослідів може бути значною, і це призводить до великих економічних витрат.

Математичне моделювання дозволяє виконати: оптимізацію складу пакету спецодягу; апроксимацію або екстраполяцію температурних залежностей матеріалів з відомими теплофізичними показниками і отримати необхідні дані (про розподіл температур на поверхнях матеріалів або пакетів) без проведення додаткових досліджень при мінімальних витратах часу і коштів.

За допомогою математичної моделі процесу теплопередачі крізь матеріали спецодягу (являє собою систему рівнянь неявних кінцевих елементів) та програми для її розрахунку можливо виконати моделювання процесу теплопередачі крізь матеріали спецодягу, які вміщують декілька різних за своїми теплофізичними властивостями шарів матеріалів.

При моделюванні вихідними даними є експериментально отримані теплофізичні показники матеріалів і відомі теплофізичні характеристики керамічних пластин.

Перевірку математичної моделі можна виконати шляхом порівняння розподілу температур в досліджуваному матеріалі і двох керамічних пластинах за результатами експериментальних даних та розрахункових.

Згідно моделі, температури на лицевій і виворітній поверхнях пакету матеріалів дорівнюють експериментальним значенням, тому не має сенсу при моделюванні перевіряти кореляційне співвідношення розподілу температур на лицевій та виворітній поверхнях (оскільки це однакові значення) (рис. 3.14).

Якість моделювання можливо перевірити шляхом визначення середнього і максимального відхилення розрахункових температур від експериментальних та визначенням кореляційного співвідношення.

Середнє відхилення розрахункових значень від експериментальних, в прикладі наведеному на рис. 3.14, не перевищує - 1,82%, максимальне - 4,68%. Кореляційне співвідношення розрахункових залежностей температур та експериментальних складає не нижче - 0,953.

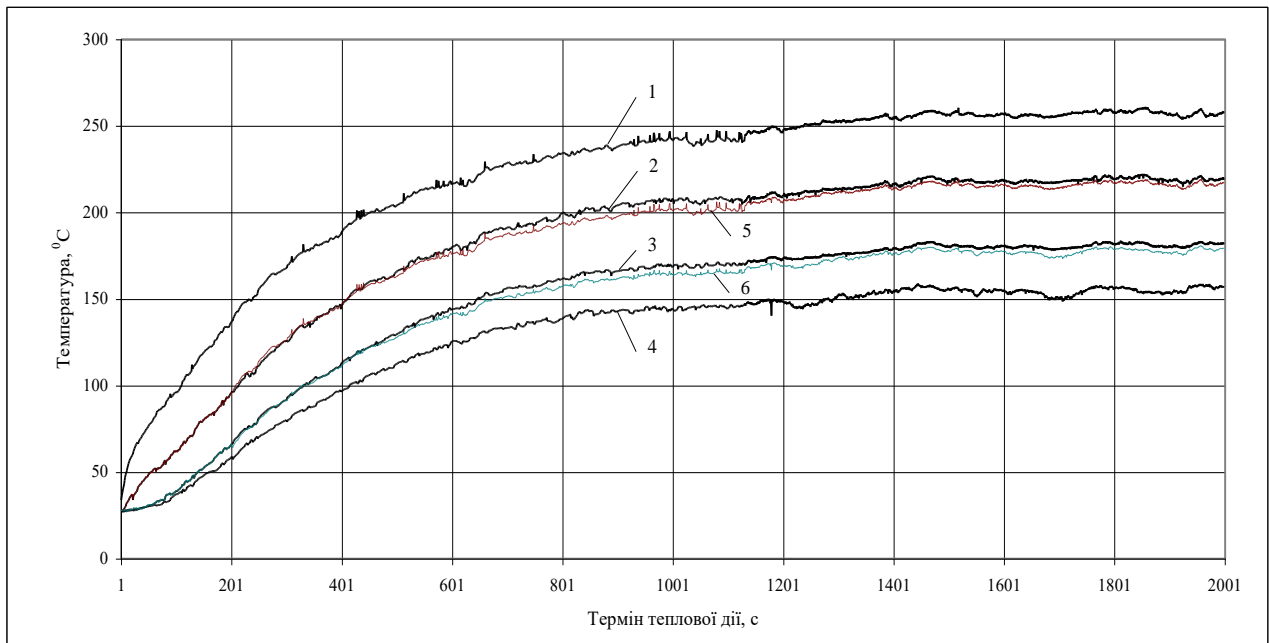


Рис.3.4. Залежності розподілу температур на поверхнях парусини брезентової арт.11119 та керамічних пластинах від часу теплової дії, отримані експериментально та моделюванням: 1, 2, 3, 4 - експериментальні значення температури, відповідно 1-4 термопар; 5, 6 –значення температур розраховані з допомогою моделі, в вузлах просторової сітки, що відповідають точкам розташування другої і третьої термопар

Результати моделювання процесу теплопередачі крізь досліджувані матеріали дозволяють зробити висновок про те, що кореляційне співвідношення розрахункових залежностей температур та експериментальних даних складає не менше 0,944 при достовірності результатів 95%. Аналогічні залежності можуть бути отримані і для інших матеріалів з відомими теплофізичними показниками.

Окрім того, модель надає можливість побудувати температурні поля в пакетах, які створені з матеріалів з відомими теплофізичними показниками.

Для побудови графічної моделі температурного поля обрано пакет, який складається з трьох шарів матеріалів: шару металу (алюміній); тканини лляної; НУМ (рис.3.15).

Показники характеристик матеріалів, необхідні для моделювання взяті з таблиць: 3.1-3.2; показники шару металу (алюміній) - з літератури [3-7]. Температура на зовнішній поверхні матеріалу задана на основі експериментальних результатів даної роботи (пакет матеріалів до складу якого входять тканина лляна металізована і НУМ).

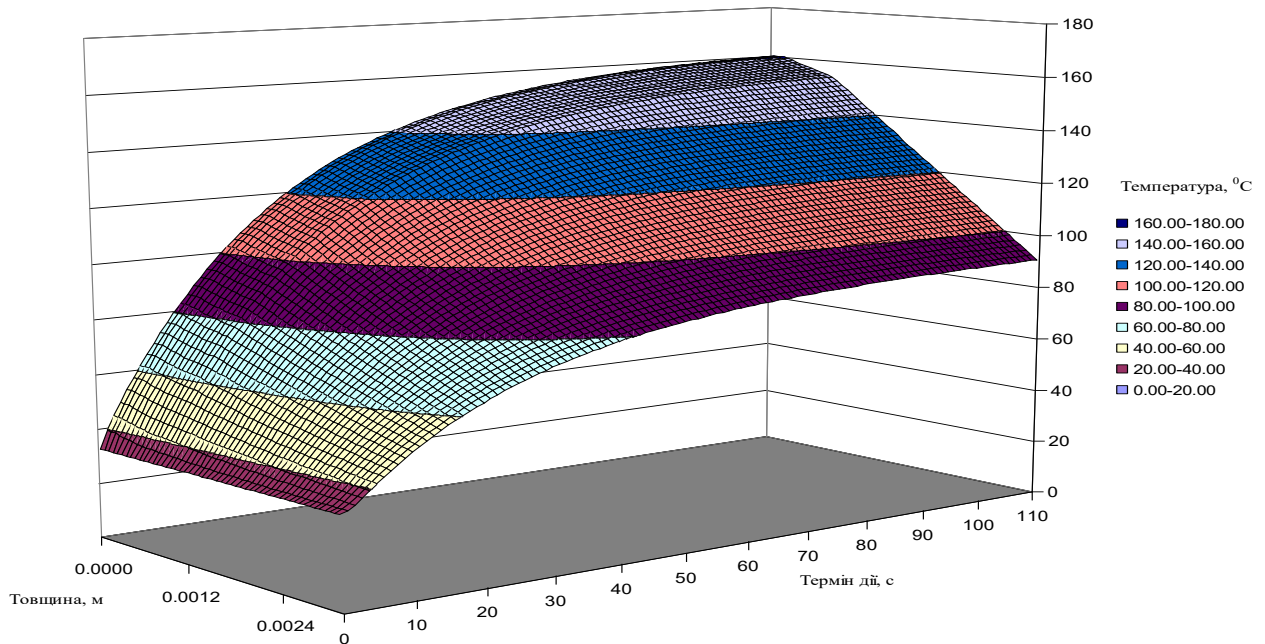


Рис. 3.15. Графічна модель температурного поля пакета матеріалів

На основі графічної моделі температурного поля побудовані залежності 1-4, розподілу температур на зовнішній та внутрішній поверхнях пакету та між шарами матеріалів від часу теплової дії, залежність 5 отримана експериментальним шляхом (рис. 3.15).

На рисунку 3.16 залежності 1 і 2 співпадають тому, що шар металізації практично не знижує температуру (зниження температури складає $0,0003\text{ }^{\circ}\text{C}$ в стадії стаціонарного режиму). Це пов'язано з великим коефіцієнтом теплопровідності алюмінію і малою товщиною шару металу $0,06\text{ мм}$.

Наступний шар (тканина лляна) знижує температуру на $6,06\text{ }^{\circ}\text{C}$, однак найбільше зниження температури (на $64,53\text{ }^{\circ}\text{C}$) дії здійснює третій шар пакету (стаціонарний режим).

Модель перевірена за допомогою пакета матеріалів до складу якого входять тканина лляна металізована і НУМ. Експериментальна залежність (5) зміни температури від часу теплової дії порівняна з розрахованою (4).

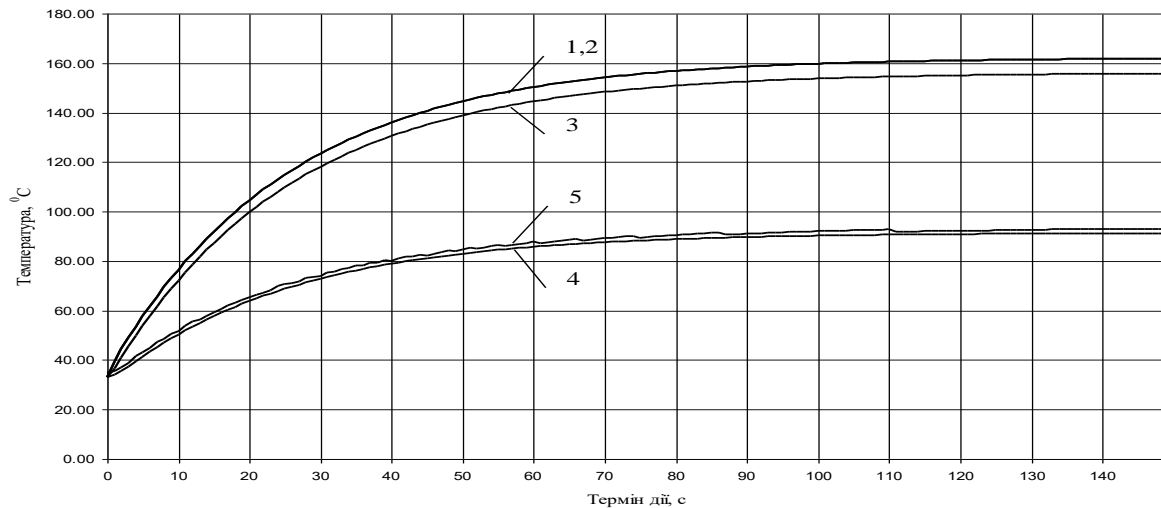


Рис. 3.16. Залежності розподілу температур на зовнішній та внутрішній поверхнях пакета та між шарами матеріалів від часу теплової дії, отримані експериментально та моделюванням: 1, 2, 3, 4 – розраховані з допомогою моделі значення температур на зовнішній та внутрішній поверхнях пакету та між шарами матеріалів; 5 – експериментальні значення температур на внутрішній поверхні пакету матеріалів з шарів тканини лляної металізованої та НУМ

При порівнянні значень температури на виворітній поверхні пакета (залежності 4,5 рис. 3.16) максимальне відхилення розрахункових даних від експериментальних не перевищує - 4,89%; середнє відхилення складає - 3,76%; кореляційне співвідношення залежностей - 0,953.

Запропонована математична модель процесу теплопередачі крізь матеріали спецодягу при завданні закону зміни температури на лицевій і виворітній поверхнях матеріалу або пакету є адекватною і дозволяє виконати: моделювання процесу теплопередачі крізь матеріали спецодягу, які вміщують декілька різних за своїми теплофізичними властивостями шарів матеріалів; побудувати температурні поля в пакетах, які створені з матеріалів з відомими теплофізичними показниками; апроксимацію або екстраполяцію температурних залежностей матеріалів з відомими теплофізичними показниками; оптимізацію складу пакету спецодягу.

3.3. Рекомендації щодо використання матеріалів

Рекомендації що до використання матеріалів можливо виконати шляхом узагальнення результатів порівняльного аналізу досліджень з допомогою найбільш важливих характеристик властивостей матеріалів (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Узагальнена характеристика термостійких властивостей матеріалів

Назва характеристики	Назва матеріалу, артикул									
	Парусина брезентовая, арт.11119	Парусина напівляляна, арт.11201	Тканина льяна металізована	Сукно сірошинельне, арт.6425	Сукно, арт.6426	Тканина арт.3246	Тканина фенілонова металізована	Полотно термостійке з волокон “Kevlar”	ТСТ-2 з волокон “Nomex”	НУМ
Температура в момент наскрізного руйнування проби або після 1500с теплової дії, °C	305,2	295,9	240,3	180,8	224,6	396	366	231,5	406	325
Термін наскрізного руйнування проби, с	320	307,3	291	200	191	1500	1500	80	1500	1500
Термін до початку руйнування лицевої поверхні проби, с	216	178,3	184,3	60	50,5	1500	1500	46,8	1500	1500
Термін досягнення температури 37°C на виворітній поверхні проб матеріалів, с	16,8	19,0	42,3	30,3	64,3	22,3	26,0	6,3	8,8	29,8
Терміни досягнення температури 50°C на виворітній поверхні проб матеріалів, с	28,3	30,3	60,0	42,5	88,0	40,0	42,0	8,5	17,3	52,5

В табл. 3.6 характеристики матеріалів, які руйнуються, представлені на сірому фоні.

За теоретичними положеннями роботи такими характеристиками є:

- температура на виворітній поверхні проби в момент наскрізного руйнування або після 1500с теплової дії, °C;
- термін наскрізного руйнування матеріалу, с;
- термін до початку руйнування лицевої поверхні матеріалу, с;

- термін досягнення температури 37⁰С на виворітній поверхні проб матеріалів, с;
- терміни досягнення температури 50⁰С на виворітній поверхні проб матеріалів, с.

В результаті дослідження матеріалів за характеристиками термостійкості (при температурі джерела теплової енергії - 800⁰С) встановлено, що матеріали НУМ, тканина фенілонова металізована, саржа для бойового одягу пожежних ТСТ-2 з волокон “Nomex”, а також тканина арт.3246 при дії джерела теплової енергії з температурою від 400 до 800⁰С можуть працювати без руйнування не менше 1500с. Інші з досліджуваних матеріалів при дії теплової енергії зазначеної інтенсивності можуть бути використані з певними обмеженнями. Термін теплової дії визначеної інтенсивності не повинен перевищувати часу, на протязі якого матеріали витримують теплову дію до початку руйнування лицевої поверхні проби (табл. 3.6). Допустимим критичним часом може служити термін наскрізного руйнування матеріалу.

При температурі джерела теплової енергії 800⁰С у лляної металізованої тканини термін підвищення температури до 37⁰С складає 42 с. У лляних тканин без металізації, не зважаючи на їх значно більшу товщину, зазначений термін становить: арт.11119 – 17с; арт.11201 – 19с. У матеріалів, що вміщують вовняні волокна, цей показник вищий, ніж у лляних тканин і знаходиться в межах від 22 до 64 с. Слід зазначити, що ці тканини не мають металізації і покращення показника відбувається за рахунок збільшення товщини тканин. У тканини фенілонової металізованої термін підвищення температури до 37⁰С складає 26с, у нетканого вуглецевого матеріалу типу НУМ – до 30 с, у матеріалів типу полотно термостійке з волокон “Kevlar” і ТСТ-2 з волокон “Nomex” цей термін складає, відповідно, 6 і 9 с.

Термін підвищення температури на виворітній поверхні проби матеріалів спецодягу до значення 50⁰С визначає час, на протязі якого людина може знаходитись в зоні дії певного високотемпературного фактора з безпекою для здоров'я. За показниками цієї характеристики, як і попередньої, найкращі теплозахисні властивості має вовняна тканина арт.6426 (термін досягнення 50⁰С складає 88 с, температура теплової дії - 800⁰С). При тій самій тепловій дії проба сукна

сірошинельного арт.6425 досягає температури 50°C на виворітній поверхні за значно менший термін – 42 с. У матеріалів типу полотна термостійкого з волокон “Kevlar” і ТСТ-2 з волокон “Nomex”, відповідно, 8 і 17 с. У вуглецевого нетканого матеріалу типу НУМ цей показник дорівнює 53с.

Загальним для останніх двох характеристик є те, що металізація майже в двічі збільшує час досягнення температури 37 або 50°C на зворотній стороні матеріалів. Також покращує цей показник збільшення товщини матеріалів.

Таким чином, можна рекомендувати використовувати досліджувані матеріали для захисту людини на протязі часу зазначеного в таблиці 3.6 (величина теплового потоку не більше 80 кВт/м^2). Кращі теплозахисні властивості має сукно арт.6426, а з матеріалів, що не руйнуються при тепловій дії 800°C - НУМ, тканина арт.3246 і тканина фенілонова металізована.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що залежності температури руйнування та температури на поверхні матеріалів від інтенсивності джерела теплової енергії описує рівняння регресії першого ступеня, а терміну руйнування - рівняння другого ступеня з коефіцієнтами, які залежать від виду матеріалу. З підвищенням температури джерела теплової енергії зберігається тенденція незначного підвищення температури наскрізного руйнування всіх матеріалів.

2. Залежності термінів досягнення температур 37 і 50⁰C і різниці часу досягнення цих температур на виворітній поверхні проб від температури джерела теплової енергії описують рівняння другого ступеня. Встановлено, що синтетичні матеріали мають більш високу швидкість зростання температури.

3. Встановлено, що в нестационарній стадії нагрівання у матеріалів з низькою теплопровідністю товщина мало впливає на швидкість зростання температури на виворітній поверхні проби. На цій стадії іде інтенсивний процес прогрівання верхніх шарів матеріалів. Характер зміни температури в залежності від температури джерела теплової енергії описує рівняння другого порядку.

4. Дослідження показують, що в перші 10 с від початку теплової дії, більшість тепла витрачається на нагрівання матеріалів. Тому температура на внутрішній поверхні проби збільшується повільно. Загальним для всіх матеріалів є зниження захисного індексу з ростом температури джерела теплової енергії. Характер зміни цього показника в залежності від температури джерела теплової енергії описує рівняння регресії другого порядку з коефіцієнтами, які залежать від виду матеріалу. Різниця в абсолютних значеннях показників захисного індексу незначна і знаходиться в межах 2,2% від загальної кількості тепла, що діє на матеріали.

5. При моделюванні процесу теплопередачі крізь матеріали спецодягу кореляційне співвідношення розрахункових залежностей температур та експериментальних даних складає не менше 0,944 при достовірності результатів 95%. Це дозволяє визначати температурні поля в пакетах.

6. Матеріали НУМ, тканина фенілонова металізована, саржа ТСТ-2 з волокон “Nomex”, тканина арт.3246 витримують дію джерела теплової енергії з температурою від 400 до 800⁰С без руйнування не менше 1500 с Інші з досліджуваних матеріалів можуть бути використані з певними обмеженнями. Термін теплової дії не повинен перевищувати часу до початку руйнування лицевої поверхні проби.

7. В результаті дослідження матеріалів за характеристиками термостійкості (при температурі джерела теплової енергії - 800⁰С) встановлено, що матеріали НУМ, тканина фенілонова металізована, саржа для бойового одягу пожежних ТСТ-2 з волокон “Nomex”, а також тканина арт.3246 при дії джерела теплової енергії з температурою від 400 до 800⁰С можуть працювати без руйнування не менше 1500с. Інші з досліджуваних матеріалів при дії теплової енергії зазначеної інтенсивності можуть бути використані з певними обмеженнями. Термін теплової дії визначеної інтенсивності не повинен перевищувати часу, на протязі якого матеріали витримують теплову дію до початку руйнування лицевої поверхні проби (табл. 3.6). Допустимим критичним часом може служити термін наскрізного руйнування матеріалу. Рекомендовано використовувати досліджувані матеріали для захисту людини на протязі часу зазначеного в таблиці 3.6 (величина теплового потоку не більше 80 кВт/м²).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Троян О.М., Сарана О.М., Засорнов О.С. Визначення оптимального складу пакета матеріалів при проектуванні термозахисного спецодягу // Вісник Технологічного університету Поділля. - 2000. - № 3. Ч.2.- С. 86-89.
2. Дослідження теплозахисних властивостей матеріалів для спецодягу та хімічного складу металів із застосуванням перспективних засобів вимірювання: Звіт з НДР / ТУП.– 2Б-99; № ДР 0199U003040; Інв. № 0202U006251.– Хмельницький, 2001.– 105 с.
3. Закон України «Про загальну безпечність нехарчової продукції». [Текст]: від 02 грудня 2023 р. № 2736-VI // Відомості Верховної Ради України: офіц. вид. / засн.: Верхов. Рада України. – К.: Преса України. – 2024. – № 22 (03.06.2024 р.). – ст. 145.
4. Ярощук О.В. Комплексна оцінка рівня якості текстильних матеріалів / О.В. Ярощук // Вісник СНУ ім. В.Даля. – 2011. – № 1(155). Ч.1. – С. 266-273.
5. Михайлова Г.М. Формування властивостей і товарознавча оцінка якості тканин для одягу: дис. ... канд. техн. наук / Г.М. Михайлова. – К., 2003. – 161 с.
6. Конфекціювання матеріалів для одягу: навч. посіб. / Н.П. Супрун, Л.В. Орленко, Е.П. Дрегуляс, Т.О. Волинець. – К.: Знання, 2005. – 156 с.
7. Дейнека І.Г. Розвиток теорії та практичне підвищення надійності кислотозахисного одягу працівників машинобудівних підприємств: дис...д-ра техн. наук: 05.26.01 – Л., 2010. – 380 с.
8. Філіпенко А.С. Основи наукових досліджень. Конспект лекцій: Посібник / А.С. Філіпенко. – К.: Академвидовництво, 2004. – 208 с.
9. Мичко А.А. Способи ідентифікації волокон рослинного походження для виготовлення текстильних матеріалів / А.А. Мичко, І.Г. Дейнека, Г.А. Ріпка, Л.І. Килимник // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2012. – № 13 (184). Ч.1. – С. 153-159.
10. Deyneka I. Identification of vegetable origin fibers for children's clothes / I. Deyneka, A. Mychko, G. Ripka // Commission of motorization and power industry in agriculture. TeKa / Lublin university of technology. – Lublin, 2012. – Vol. 12. № 3. – P. 15-18.

11. Мичко А.А. Способи ідентифікації штучних волокон для виготовлення текстильних матеріалів / А.А. Мичко, І.Г. Дейнека, Г.А. Ріпка, Л.І. Килимник // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2012. – №9 (180). Ч.1. – С. 108-113.

12. Мичко А.А. Способи ідентифікації гетероланцюгових волокон для виготовлення текстильних матеріалів / А.А. Мичко, І.Г. Дейнека, Г.А. Ріпка, Л.І. Килимник // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2012. – №5 (176). Ч. 2. – С. 233-238.

13. Колосніченко М.В. Розвиток наукових основ створення термозахисного спеціального одягу: автореф. дис ... д-ра. техн. наук: 05.19.04. / М.В. Колосніченко. – К., 2004. – 37 с.

14. Landis E.M. The capillary blood pressure in mammalian mesentery as determined by the microinjection method / E.M. Landis // Am. J. Physiol. – 2020. – Vol. 93. – P. 353-362.

15. Тканини та вироби ткані поштучні. Класифікація та номенклатура показників якості: ДСТУ 3047-95. [Чинний від 1996-07-01]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 25 с. (Державний стандарт України).